

Madera muerta: caracterización, cuantificación y análisis del inicio del proceso de descomposición sobre una repoblación de *Pinus pinaster* (Sierra Norte, Guadalajara)



Máster interuniversitario en Restauración de Ecosistemas

Presentado por:

D. Alejandro Calvillo Ruiz

Directores:

Dr. José Alfredo Bravo Fernández

Dr. Juan Antonio Oliet Pala

En Madrid, a 28 de Octubre de 2019

Índice

1.	RESUMEN	5
2.	ANTECEDENTES.....	5
3.	OBJETIVOS	15
4.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	16
4.1.	LOCALIZACIÓN Y SITUACIÓN ADMINISTRATIVA.....	16
4.2.	HISTORIA	17
4.3.	CLIMA	18
4.4.	GEOLOGÍA, EDAFOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA	19
4.5.	HIDROLOGÍA.....	21
4.6.	VEGETACIÓN	21
4.7.	CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS.....	22
4.8.	FAUNA	22
5.	METODOLOGÍA.....	23
5.1.	DIVISIÓN EN BLOQUES Y PARCELAS	23
5.2.	EVALUACIÓN DE LA MADERA MUERTA EN PARCELAS CONTROL	26
5.2.1.	<i>Madera muerta en pie (MMP)</i>	27
5.2.2.	<i>Madera muerta gruesa en suelo (MMGS)</i>	32
5.2.3.	<i>Madera muerta media en suelo (MMMS) y madera muerta fina en suelo (MMFS)</i>	35
5.2.4.	<i>Estimación del CO₂ retenido por parte de la madera muerta</i>	37
5.3.	ANÁLISIS DEL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE MADERA MUERTA EN PARCELAS CON TRATAMIENTOS SELVÍCOLAS.....	39
5.3.1.	<i>Cálculos y estadísticos</i>	40
6.	RESULTADOS	42
6.1.	MADERA MUERTA EN PARCELAS CONTROL	42
6.1.1.	<i>Cuantificación del volumen de madera muerta</i>	42
6.1.2.	<i>Estimación del CO₂ retenido por parte de la madera muerta</i>	47
6.2.	MADERA MUERTA DEPOSITADA EN PARCELAS CON TRATAMIENTO SELVÍCOLAS	48
7.	DISCUSIÓN.....	51
7.1.	MADERA MUERTA EN PARCELAS CONTROL	51
7.2.	MADERA MUERTA DEPOSITADA EN PARCELAS CON TRATAMIENTOS SELVÍCOLAS.....	55
8.	CONCLUSIONES.....	57
9.	BIBLIOGRAFÍA	57

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MICROHÁBITATS CREADOS POR MADERA MUERTA Y ESPECIES ASOCIADAS	6
TABLA 2. UMBRALES DE CANTIDAD DE MADERA MUERTA RECOMENDADOS EN DISTINTOS TIPOS DE BOSQUES EUROPEOS	13
TABLA 3. UMBRALES DE MADERA MUERTA RECOMENDADOS POR EL MMARM	13
TABLA 4. VOLÚMENES MEDIOS DE MADERA MUERTA)	15
TABLA 5. VOLÚMENES MEDIOS DE MADERA MUERTA PARA DISTINTOS CLIMAS EUROPEOS EN TRES AÑOS DIFERENTES	15
TABLA 6. RESUMEN CLIMÁTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO).....	18
TABLA 7. VEGETACIÓN EXISTENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO	22
TABLA 8. CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS BÁSICAS DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES.....	22
TABLA 9. ESPECIES DE LA CLASE INSECTA PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	23
TABLA 10. ESPECIES DE AVES PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	23
TABLA 11. ACTUACIONES LLEVADAS A CABO EN LAS DISTINTAS PARCELAS DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL	25
TABLA 12. TIPOS DE MMP.....	27
TABLA 13. ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN POR ASPECTO VISUAL	29
TABLA 14. CLASIFICACIÓN DE LA RETENCIÓN DE LA CORTEZA.....	30
TABLA 15. CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA MADERA	30
TABLA 16. GRADOS DE DESCOMPOSICIÓN DE LA MADERA	33
TABLA 17. INCLINACIÓN DEL ELEMENTO RESPECTO A LA CURVA DE NIVEL	34
TABLA 18. ZONA EN LA QUE SE CONCENTRA LA DESCOMPOSICIÓN/DESCORTEZADO	35
TABLA 19. RECLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA MADERA A LAS CLASES DE DECAIMIENTO DEL IPCC Y FACTOR DE REDUCCIÓN CORRESPONDIENTE A CADA CLASE.....	38
TABLA 20. RESUMEN DE LOS FACTORES CORRESPONDIENTE A PINUS PINASTER.....	39
TABLA 21. TABLA RESUMEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE VOLUMEN.....	42
TABLA 22. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE ALGUNAS VARIABLES DE LA MADERA MUERTA GRUESA EN SUELO (MMGS)	45
TABLA 23. VOLUMEN DE MMMS	45
TABLA 24. BIOMASA DE MMMS.....	46
TABLA 25. CO ₂ MÍNIMO, MÁXIMO Y MEDIO RETENIDO POR LA MADERA MUERTA EN SUS DISTINTAS FRACCIONES.	48
TABLA 26. RESULTADOS DEL CONTRASTE DE HIPÓTESIS MEDIANTE TEST Z.....	50

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1. SITUACIÓN DEL MONTE DE UTILIDAD PÚBLICA 261 “JÓCAR” EN LA PROVINCIA DE GUADALAJARA	16
ILUSTRACIÓN 2. FICHA DEL MUP Nº 261 EXTRAÍDO DEL CATÁLOGO DE MONTES DE UTILIDAD PÚBLICA DE CASTILLA-LA-MANCHA (JCCM, 2015)	17
ILUSTRACIÓN 3. CLIMODIAGRAMA DE LA ZONA DE ESTUDIO (DE FRUTOS, 2017)	19
ILUSTRACIÓN 4. MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO (IGME)	20
ILUSTRACIÓN 5. MAPA DE PENDIENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO (ELABORACIÓN PROPIA)	20
ILUSTRACIÓN 6. HIDROGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO (ELABORACIÓN PROPIA)	21
ILUSTRACIÓN 7. MAPA DE SITUACIÓN DE LAS PARCELAS DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL (ELABORACIÓN PROPIA)	25
ILUSTRACIÓN 8. ESTADOS DE DESCOMPOSICIÓN POR ASPECTO VISUAL (COMAS Y VAYREDA, 2016)	29
ILUSTRACIÓN 9. DISTRIBUCIÓN DE LAS PARCELAS EN EL MUESTREO SISTEMÁTICO DE MMMS Y MMFS DENTRO DE UNA PARCELA EJEMPLO DE 50x50 (ELABORACIÓN PROPIA)	36
ILUSTRACIÓN 10. DISTRIBUCIÓN DE LAS FRACCIONES DE MADERA MUERTA EN CADA PARCELA CONTROL (ELABORACIÓN PROPIA)	43
ILUSTRACIÓN 11. DISTRIBUCIÓN DEL VOLUMEN MEDIO DE MADERA MUERTA.....	43
ILUSTRACIÓN 12. DISTRIBUCIÓN DEL VOLUMEN Y BIOMASA DE MMMS EN LAS PARCELAS CONTROL	46
ILUSTRACIÓN 13. DISTRIBUCIÓN DE LA FRACCIÓN DE CUBIERTA (FCC) PARA LA MMFS	47
ILUSTRACIÓN 14. DISTRIBUCIÓN DEL PORCENTAJE DE DESCOMPOSICIÓN SEGÚN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS.....	49
ILUSTRACIÓN 15. DISTRIBUCIÓN ACUMULADA DE LOS PORCENTAJES DE DESCOMPOSICIÓN PARA CADA TRATAMIENTO. LAS LETRAS INDICAN ENTRE QUÉ TRATAMIENTOS HAY DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA CADA CLASE	50
ILUSTRACIÓN 16. VOLÚMENES MEDIOS DE MADERA MUERTA M ³ /HA PARA DISTINTOS CLIMAS EUROPEOS EN MASAS MANEJADAS Y NO MANEJADAS SEGÚN LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA REALIZADA (ANEXO 1) Y VOLUMEN MEDIO DE MADERA MUERTA EN JÓCAR (ELABORACIÓN PROPIA)	52
ILUSTRACIÓN 17. VOLÚMENES MEDIOS DE MADERA MUERTA PARA DISTINTOS CLIMAS EUROPEOS EN TRES AÑOS DIFERENTES (ANEXO 2) (ELABORACIÓN PROPIA BASADO EN EEA, (2015))	52

Índice de imágenes

IMAGEN 1. DISTINTOS TIPOS DE MADERA MUERTA EN PIE (MMP).....	28
IMAGEN 2. EJEMPLOS DE TOCONES.....	31
IMAGEN 3. EJEMPLO DE MADERA MUERTA GRUESA EN SUELO	32
IMAGEN 4. A. EJEMPLO DE MADERA MUERTA MEDIA EN SUELO	47
IMAGEN 5. EJEMPLO DE PIE APEADO Y DEJADO EN EL SUELO.....	48

Índice de ecuaciones

ECUACIÓN 1. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE UN ÁRBOL EN PIE	31
ECUACIÓN 2. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE UNA ESTACA	31
ECUACIÓN 3. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE UN TOCÓN	32
ECUACIÓN 4. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA MMGS	35
ECUACIÓN 5. CÁLCULO DE LA BIOMASA AÉREA DE LA MADERA MUERTA	37
ECUACIÓN 6. CÁLCULO DE LA BIOMASA RADICAL DE LA MADERA MUERTA.....	37
ECUACIÓN 7. CÁLCULO DE LA BIOMASA TOTAL	37
ECUACIÓN 8. CÁLCULO DEL CO ₂ RETENIDO	38
ECUACIÓN 9. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE UNA TROZA (TONO TRUNCADO).....	40

1. Resumen

La madera muerta es un elemento cuya importancia ecológica cada vez es más reconocida, hasta el punto de ser un indicador europeo de la biodiversidad. En el presente estudio se ha realizado una cuantificación y caracterización por fracciones de la madera muerta presente en un pinar de repoblación de *Pinus pinaster* de 50 años de edad en el MUP 161 Júcar, resultando un volumen medio de 4.04 m³/ha, valor similar a otras repoblaciones de pinos en España, pero inferior a los valores medios mediterráneos y europeos. Además, se ha iniciado la primera fase de estudio de la descomposición de pies apeados y dejados en el monte como madera muerta tras claras de distinta intensidad. Un año después de la ejecución de las claras se observan diferencias significativas en los porcentajes de descortezado, presentando mayor descomposición en las parcelas con claras de mayor intensidad, lo que se asocia a una mayor radiación solar. En promedio, el 87% de las trozas estudiadas se encuentran entre el 0 y el 0-5% de descortezado, siendo entre estas dos clases donde se manifiestan las diferencias. A pesar de estos resultados, se considera que las verdaderas diferencias aún no se han manifestado y debe pasar más tiempo para extraer resultados concluyentes. Tampoco se han encontrado microhábitats asociados a los pies apeados y dejados en el suelo, ni acumulación de restos aguas arriba de los mismos, nuevamente asociado al poco tiempo transcurrido.

2. Antecedentes

Contexto

La madera muerta es un elemento dinámico de los ecosistemas forestales cada vez más utilizado como indicador de la madurez, naturalidad y biodiversidad de los bosques (Travaglini et al., 2006; Brin et al., 2008). Su importancia es ampliamente reconocida a distintos niveles ecológicos: contribuye a la cantidad total de materia orgánica, influyendo en la formación de suelo y en los ciclos de carbono y nitrógeno (Laiho y Prescott, 2004), puede actuar como elemento nodrizo para la protección de semillas y plántulas y, quizás su función más valorada, sirve como hábitat y alimento para un gran número de especies saproxílicas (aquellas que durante parte de su ciclo vital dependen

de la madera muerta de los árboles). Dentro de las especies saproxílicas se incluyen principalmente una gran variedad de hongos saprófitos y numerosos insectos (Grove, 2002), destacando también pájaros que anidan en cavidades (McComb y Lindenmayer, 1999), briófitos, líquenes, y pequeños mamíferos (Müller y Bütler, 2010).

Biodiversidad en madera muerta

La madera muerta es para la biodiversidad un microhábitat en continua evolución (Dudley y Vallauri, 2004). Las especies asociadas a la madera muerta son variables en función de la cantidad, tipología, tamaño y distribución de los elementos leñosos, factores que determinan la disponibilidad de los recursos (Sverdrup-Thygeson et al., 2014) y el ensamblaje de la comunidad saproxílica, ya que muchas de estas especies se especializan para vivir en elementos de determinadas características (Grove, 2002; Müller et al., 2015) o incluso dependen de otras especies asociadas a la madera muerta (Seibold et al., 2015). Estudios realizados en el área de Finlandia estiman que, siendo conservadores, el número de especies que depende de la madera muerta oscila entre 4 000 y 5 000 (Siitonen, 2001).

En la Tabla 1 se resumen algunos de los microhábitats creados por los distintos tipos de elementos de madera muerta (o pies vivos con cavidades) y la biodiversidad asociada.

Tabla 1. Microhábitats creados por madera muerta y especies asociadas. Traducido de (Travaglini et al., 2007)

Elemento	Tipo de microhábitat	Biodiversidad asociada
Arboles viejos vivos	Árboles muy antiguos con una amplia copa, útil como percha para aves y lugar de nidificación.	Grandes rapaces como el águila real (<i>Aquila chrysaetos</i>), cigüeña negra (<i>Ciconia nigra</i>) ...
	Cavidades en árboles antiguos	Lugares de nidificación para búhos y rapaces nocturnas
	Madera muerta en pies vivos	Orden Coleóptera y hongos lignícolas
Arboles muertos en pie	Árboles muy antiguos con grandes piezas de madera, útiles como percha para aves y lugar de nidificación	Pájaros, ardillas y otros animales que se alimenten sobre la corteza o debajo de ella (p.ej. Coleóptera) y sus depredadores
	Árboles muertos o moribundos en pie en distintos estados de decaimiento	Elementos colonizados por hongos, líquenes, invertebrados y un gran número de nidos (p.ej. pájaro carpintero)

Elemento	Tipo de microhábitat	Biodiversidad asociada
Madera muerta sobre el suelo	Árboles muertos o moribundos en pie con cavidades de tamaño grande capaces de albergar animales grandes	Hongos, bacterias y algas
	Árboles jóvenes muertos en pie	
	Leña recientemente caída que aún conserva la corteza y pequeñas piezas de madera	Hongos y coleópteros grandes
	Leña parcialmente intacta con la madera del interior empezando a ablandarse	Coleópteros y hongos. Diferentes composiciones de especies
	Leña con levantamiento de corteza y pequeñas piezas de madera, parcialmente hundidas en la tierra	Muchas especies de insectos, incluyendo orden Coleóptera y Díptera. Pocos hongos
	Leña en estado avanzado de descomposición, levantamiento de corteza y pequeñas piezas de madera completamente hundida en la tierra	Insectos y hongos especializados
	Elementos casi descompuestos del todo, la madera esta desmenuzada pero todavía es un solo elemento	Artrópodos, milpiés... Fauna que facilita la dispersión de las coníferas y algunas frondosas como los alisos
Materia orgánica y agua	Elementos desarraigados de la tierra con el sistema radical aun presente	Sistema radical puede albergar nidos de pájaros e insectos
	Elementos de madera grandes	La madera se convierte en sustrato para numerosas especies de briofitos y algunas plantas mayores
	Fragmentos leñosos incluyendo piezas de madera, madera fina y corteza	Hongos y artrópodos especializados
	Madera gruesa	Algas, larvas de insectos

Dinámica de la madera muerta en bosques no manejados

En bosques no manejados, la madera muerta puede proceder de la mortalidad de los pies, ya sea por el propio envejecimiento de la masa o por fenómenos de competencia, o puede ser producida debido a perturbaciones en el ecosistema. Ambas situaciones están determinadas principalmente por el clima, la productividad del lugar, la composición de especies, el régimen de perturbaciones, la historia del área, los ecosistemas que hubiera anteriormente y la fase de la sucesión ecológica en que se encuentra (Herrero et al., 2014). En el caso de las perturbaciones, la cantidad, tipología y tamaño de la madera muerta producida es muy variable (Rahman et al., 2008), dependiendo de la intensidad y tipo de la perturbación, además de su recurrencia que determina la acumulación de elementos muertos en el tiempo. Las diferentes

perturbaciones e intensidades de las mismas producen recursos específicos que crean un nicho para organismos especializados, de manera que, a mayor diversidad en la tipología de madera muerta, existe un mayor número de especies presentes (Müller y Bütler, 2010). Por ejemplo, los pies derribados por una fuerte ventisca, árboles muertos por una enfermedad, o madera quemada tras un incendio (Hyvärinen et al., 2006), son recursos muy diferentes que sirven como hábitat a especies diferentes.

Se ha comprobado que la cantidad de madera muerta en los países del sur de Europa es menor en cantidad que en el norte de Europa (Travaglini et al., 2007), aunque el significado ecológico de la madera muerta puede ser muy distinto ya que el proceso de descomposición es mucho más rápido en el clima mediterráneo propio del sur europeo (Lombardi et al., 2010).

Dinámica de la madera muerta en bosques manejados

En masas manejadas por el ser humano, la madera muerta procede principalmente de las actividades silvícolas (podas, claras, cortas...) (Brin et al., 2008). Como consecuencia de la gestión forestal tradicionalmente llevada a cabo y los tratamientos silvícolas asociados, en la que se ha obviado la importancia de la madera muerta, se ha observado que en masas manejadas suele ser menor la cantidad de madera muerta, su diámetro y la diversidad de tipologías de la misma. Tras la ejecución de claras se suele dejar en el monte aquella fracción de madera más fina que no puede ser aprovechada por la industria, siendo esta fracción menos adecuada como hábitat para numerosas especies que necesitan mayor cantidad y diámetro de madera muerta. Los pies muertos, moribundo o debilitados también suelen ser extraídos para evitar riesgo de propagación de enfermedades y/o plagas. Además, para evitar posibles problemas de plagas y enfermedades, los restos de los tratamientos suelen ser agrupados y quemados, eliminando incluso la fracción fina. El creciente interés en el aprovechamiento de biomasa como biocombustible para la generación de energía dificulta aún más la conservación de madera muerta en los montes al eliminar incluso la fracción más fina, y pone en peligro a aquellas especies asociadas a la madera muerta (Brin et al., 2008).

En ecosistemas forestales adaptados al fuego, como son los pinares mediterráneos, es una práctica habitual la eliminación del matorral, especies arbustivas, o incluso los residuos de las actividades silvícolas para reducir el riesgo de incendio forestal. Esta práctica implica la eliminación de elementos potenciales de madera muerta del ecosistema (Fernandes et al., 1999; Montes y Cañellas, 2006).

Estudios que analizan la distribución temporal de la madera muerta en bosques manejados han descrito un patrón en forma de sierra en que se producen picos en la cantidad de madera muerta que se corresponde con los momentos de actuaciones silvícolas (Montes et al., 2004). Además, estos picos no corresponden con la diversidad de madera muerta en un bosque natural maduro, sino que ciertos elementos propios de bosques naturales son sustituidos por otros que son residuos de los tratamientos silvícolas (p.ej. en bosques maduros naturales hay mayor cantidad de estacas y árboles muertos en pie, mientras que en bosques manejados estos elementos apenas aparecen, pero hay mucha cantidad de tocones).

Se estima que la cantidad de madera muerta en repoblaciones en el área de Fenoscandia empieza a aumentar a partir de los 60 años de edad de la masa (Jonsson et al., 2005). Brin et al. (2008) señalan que hay un patrón claro de acumulación de madera muerta a lo largo del ciclo de un bosque manejado que alcanza su pico con la tercera clara, alcanzado el valor estimado de 24 m³/ha.

Comparación entre bosques manejados y no manejados, maduros y jóvenes

Son numerosos los artículos que han comparado la diferencia en la cantidad de madera muerta entre bosques manejados y no manejados ya maduros, comprobando en la mayoría de los casos que la cantidad es mayor en bosques maduros no manejados, así como la diversidad en las clases de descomposición y la cantidad de microhábitats creados.

Larrieu et al. (2012) encontraron que la cantidad de elementos muertos era menor y se encontraban en menor estado de descomposición en hayedos manejados en la zona del pirineo central. Similares fueron los resultados de Lombardi et al. (2008) al comparar bosques manejados y no manejados en Italia central. Otro trabajo de Lombardi et al.

(2010) en bosques de Italia cuya última corta fue entre 40 y 300 años atrás, comprueba que el elemento más representado de madera muerta eran elementos gruesos en el suelo, mientras que apenas había tocones, lo contrario al estudio de Recalde et al. (2013), donde el 84% de los elementos de madera muerta eran tocones derivados de claras. En un estudio acerca de las características de microhábitats en árboles en robledales mediterráneos en Francia, Regnery et al. (2013) encontraron que aquellos rodales más maduros y donde había pasado más tiempo desde la última actuación tenía mayor cantidad de microhábitats, y que los elementos más grandes también presentaban mayor número de microhábitats. Sande (2016) comprobó que en bosques maduros existen mayor diversidad en los grados de descomposición de los elementos de madera muerta y existe también mayor cantidad de cavidades en árboles muertos en pie. Paletto et al. (2014) estudiaron el carbono acumulado en madera muerta de bosques bajo distintos regímenes de gestión, concluyendo que en aquellos bosques bajo silvicultura intensiva la cantidad de carbono acumulada era significativamente menor que en aquellos con una gestión multifuncional.

Se estima que, en bosques manejados, el volumen de madera muerta gruesa se encuentra entre el 2 y el 30% (normalmente menos del 10%) de la que se encuentra en un bosque natural no manejado (Fridman y Walheim, 2000). Todos estos datos y los mostrados en los apartados anteriores ponen de manifiesto dos hechos: que la silvicultura tradicionalmente aplicada no ha tenido en cuenta la importancia ecológica de la madera muerta, eliminando tanto los árboles muertos como los elementos potenciales de madera muerta, y que las masas procedentes de repoblación, al menos en España, son demasiado jóvenes como para producir suficiente cantidad de madera muerta gruesa, no teniendo sentido comparar un bosque joven con un bosque maduro.

A pesar de estos estudios comparando las cantidades, son menos los que han estudiado la historia de la gestión en masas manejadas y las diferentes estructuras de madera muerta que están han originado para determinar si ciertos tipos de gestión influyen en la cantidad de madera muerta (Grove, 2001; Sefidi, 2015).

Metodologías de muestreo aplicadas

Los métodos más utilizados para el muestreo de madera muerta son las parcelas de área fija y los transectos lineales, siendo ambos bastante precisos y diferenciándose principalmente en el tiempo requerido para su realización (Agresta S. Coop., 2016). El método usado varía según el tipo de elemento que se quiera inventariar y según el país. Si comparamos las metodologías usadas por países, la mayoría usan parcelas de área fija para madera muerta en pie y para madera muerta gruesa en el suelo (MMGS, 63%), mientras que un 19% usan transectos lineales y el resto parcelas de tamaño variables u otras estimaciones. Estos porcentajes cambian considerablemente si en vez de países consideramos la superficie forestal muestreada, concluyendo que, a nivel mundial, el 16% de la “*coarse wood debris*” (CWD, madera muerta de diámetro superior a 10 cm) es muestreado mediante transectos lineales y apenas el 3% mediante parcelas de área fija. Esto es debido a que los transectos lineales generalmente se utilizan en países con superficie forestales de gran tamaño (Canadá, EEUU...) por su mayor rapidez, y parcelas de área fija en superficies más pequeñas, como son los países europeos (Woodall et al., 2006).

Directrices para la gestión de madera muerta

Numerosos artículos reconocen la importancia de la madera muerta en los bosques y la necesidad de aumentar la cantidad de la misma en aquellos bajo gestión donde la cantidad se ha demostrado que ha sido reducida considerablemente. A pesar de ello, todavía existen pocos estudios acerca de su dinámica y no existen unos rangos estadísticamente validados y aceptados que sirvan como referencia a los gestores forestales (Müller y Bütler, 2010; Hernando Gallego et al., 2013; Olivar et al., 2017) existiendo pocas regiones a nivel mundial que cuenten con estrategias de conservación de madera muerta (Seibold et al., 2015). Sí que existen estudios sobre los umbrales de madera muerta necesarios para algunas especies de fauna concretas, lo cual puede servir cuando el objetivo sea favorecer la presencia de cierta especie (se realiza una recopilación interesante de recomendaciones según distintos grupos taxonómicos en Agresta S. Coop. (2016) y un estudio acerca de los quirópteros forestales en Guixé y Camprodon (2018)).

La mayoría de los estudios revisados hacen referencia a ecosistemas boreales del norte de Europa, habiendo una falta todavía mayor de estudios de la dinámica de madera muerta en ecosistemas mediterráneos. Esta falta de directrices básicas en la gestión de la madera muerta probablemente sea a la reciente valoración de la misma, a la alta variabilidad en la cantidad y tamaño en distintos ecosistemas (Herrero et al., 2010), a la complejidad de factores implicados y sus relaciones, y la dificultad de modelizar o estimar estas variables estocásticas (Herrero et al., 2010; Müller y Bütler, 2010).

Directrices en Europa

Actualmente, en Europa la madera muerta es uno de los 26 indicadores que forman parte del Sistema de Indicadores Europeos de Biodiversidad (SEBI), iniciativa panaeuropea creada en 2005. También es uno de los nueve Indicadores de Biodiversidad Paneuropeos para la Gestión Forestal Sostenible, que fueron adoptados en la Conferencia Ministerial para la Protección de los Bosques en Europa (MCPFE) de 1998 (Lisboa) y mejorados en 2003 (Viena) y que se usaron como referencia para la creación de la norma UNE 162.002:2013 por la cual se rigen los estándares de certificación de la Asociación para la Certificación Española Forestal (PEFC).

A lo largo de los últimos años ha habido una serie de recomendaciones respecto al manejo de la madera muerta que se han tomado como referencia para la gestión forestal sostenible. Estas recomendaciones se han basado principalmente en métodos estadísticos basados en la cuantificación del volumen, fase de descomposición y especies dominante mediante transectos o parcelas de muestreo (Andersen et al., 2009) o mediante la valoración propia de expertos en la materia (Olivar et al., 2017)).

En 1990, Hunter (citado en Agresta S. Coop., 2016) propuso una primera cantidad óptima de madera muerta para alcanzar una gestión forestal sostenible que oscilaba entre 5 y 10 árboles muertos por hectárea. Este criterio se tomó en un principio como referencia a nivel mundial. Müller y Bütler (2010) fueron más precisos, buscando unos umbrales de madera muerta recomendables para los distintos tipos de bosques europeos (Tabla 2), proponiendo un rango entre 10 y 50 m³/ha con un nivel óptimo sobre los 30 m³/ha.

Tabla 2. Umbrales de cantidad de madera muerta recomendados en distintos tipos de bosques europeos (Müller y Bütler, 2010)

Tipo de Bosque	Recomendación (Müller y Bütler, 2010)
Bosques boreales	20-30 m ³ /ha
Bosques mixtos de montaña	30-40 m ³ /ha
Robledales-hayedos de baja altitud	30-50 m ³ /ha

Directrices en España

En España, en la metodología propuesta por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (MMARM) en 2009 “*Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*” se incluyó la madera muerta como indicador relevante para evaluar el estado de conservación, estableciendo unos umbrales de madera muerta que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Umbrales de madera muerta recomendados por el MMARM (MMARM, 2009)

Nivel	Características madera muerta
Desfavorable-Malo	<10 m ³ /ha
Desfavorable-Inadecuado	10-30 m ³ /ha, con al menos un 30% como fragmentos de más de 30 cm de diámetro y un 20% como madera muerta en pie.
Favorable	>30 m ³ /ha, con al menos 12 m ³ /ha en fragmentos de más de 30 cm de diámetro y al menos 4 m ³ /ha en pie. Es importante que se presente madera en todos los estados de descomposición y que muestre una distribución que ocupe todo el espacio.

En los estándares españoles de gestión forestal para la certificación FSC (Forest Stewardship Council A.C., 2012) se hace referencia en dos ocasiones a la madera muerta o a elementos potenciales de madera muerta. El principio 6 de impacto ambiental incluye en su criterio 6.3 la necesidad de mantener intactas las funciones ecológicas, haciendo hincapié en el indicador 6.3.5 en las medidas para conservar, mejorar o restaurar la diversidad y microhábitats asociados a árboles extramaduros y madera muerta. El principio 9 de mantenimiento de montes con alto valor de conservación también hace referencia en el indicador 9.3.7 a mantener 5 pies extracortables por hectárea hasta su muerte natural y, si existen, 2 pies muertos por hectárea en aquellos montes cuyo producto principal sea la madera.

También la Asociación para la Certificación Española Forestal (PEFC), que se rige por la norma UNE 162.002:2013 de Gestión Forestal Sostenible (AENOR, 2013) hace mención en su indicador 4.5 a la madera muerta, fijando como objetivo la “presencia de madera muerta en cantidad, dimensiones y distribución adecuada a las directrices y avances científicos, salvo excepciones justificadas por incendios, plagas o usos del monte”.

También en las instrucciones generales para la ordenación de montes arbolados de cada Comunidad Autónoma se suelen incluir ciertas directrices básicas, o por lo menos mención, al mantenimiento de madera muerta en el monte.

Umbrales de madera muerta en climas europeos

Para hacer posible la comparación del volumen de madera obtenido en nuestra zona de estudio con otros valores, además de la posibilidad de hacer con cada artículo de manera individual, se han elaborado dos tablas y gráficas resumiendo los umbrales de madera muerta existentes en distintos climas europeos. Cada tabla se ha elaborado a partir de datos diferentes.

Para la Tabla 4 se ha realizado una revisión bibliográfica y se han recopilado datos de aquellos artículos que incluían un valor medio de volumen de madera muerta para determinada zona forestal de estudio y la explicación de si el bosque se encuentra manejado o no. A cada zona de estudio se le ha asignado un clima según el mapa de regiones bioclimáticas de la European Environmental Agency (EEA, 2016) . La tabla con los datos utilizados y sus referencias se pueden consultar en el Anexo 1.

Para la Tabla 5 se han utilizado los valores proporcionados por EEA (2015) en su base de datos con cantidades de madera muerta para distintos países de Europa en los años 2000, 2005 y 2010, asignando a cada país un clima de igual manera que el anterior caso. Estos datos permiten comparar la evolución en cuanto a cantidad de madera muerta para los países en que hay datos disponibles. No hay datos para España. La tabla con los datos utilizados se puede consultar en el Anexo 2 o en la web de EEA (2015)

Tabla 4. Volúmenes medios de madera muerta (diámetros medios superiores a 2.5 cm) (m^3/ha) para distintos climas europeos en masas manejadas y no manejadas según la revisión bibliográfica realizada (Anexo 1) (Elaboración propia)

Clima	Volumen medio (m^3/ha)		
	Manejado	No manejado	Promedio
Alpino	10.0	23.0	16.5
Atlántico	18.5	80.5	49.5
Boreal	6.6	74.9	40.8
Mediterráneo	6.1	18.7	9.7
Promedio	10.3	49.3	29.1

Tabla 5. Volúmenes medios de madera muerta (m^3/ha) para distintos climas europeos en tres años diferentes (Anexo 2) (Elaboración propia basado en (EEA, 2015))

Clima	Año		
	2000	2005	2010
Atlántico	5.2	6.1	6.5
Mediterráneo	8.3	5.8	11.6
Boreal	10.2	12.8	13.2
Continental	16.0	17.4	17.1
Alpino	14.4	17.4	20.2
Promedio UE	10.9	12.3	13.4

3. Objetivos

Este trabajo se enmarca dentro del Plan Estatal de Investigación FORADMIT - Gestión forestal para la adaptación y mitigación: diversificación estructural y específica de pinares mediterráneos de repoblación (Código AGL2016-77863-R), con duración desde el año 2017 hasta el 2020, llevado a cabo por varios profesores e investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid. El proyecto FORADMIT lleva a cabo varias líneas de investigación, participando este trabajo en la línea de estudio y evaluación de la madera muerta en masas forestales artificiales.

Los objetivos principales a alcanzar son los siguientes:

1. Cuantificar el volumen de madera muerta y caracterizar la misma en repoblaciones de *Pinus pinaster* en medio mediterráneo.
2. Estimar el CO₂ secuestrado por los elementos de madera muerta.
3. Llevar a cabo la primera fase de estudio del análisis de descomposición de la madera muerta dejada en monte.
4. Comprobar la influencia a corto plazo de la ejecución de claras de distinto tipo y peso sobre el proceso de descomposición.

Como se indica en estos dos últimos objetivos, este trabajo es la primera fase del experimento, por lo que los resultados finales no van a ser válidos para extraer conclusiones firmes, sino que servirán para describir la situación inicial.

4. Caracterización del área de estudio

Se comentan a continuación, de manera breve, las principales características del área de estudio.

4.1. Localización y situación administrativa

Para llevar a cabo el estudio de madera muerta se ha utilizado el dispositivo experimental creado por el proyecto FORADMIT en el Monte de Utilidad Pública (MUP) nº 261 “Jócar”, en el término municipal de Arbancón (Guadalajara) (Ilustración 1).



Ilustración 1. Situación del Monte de Utilidad Pública 261 “Jócar” en la provincia de Guadalajara

El MUP Júcar tiene una superficie de 2 107 ha y se encuentra rodeado de otros MUP de características y evolución histórica similares. El propietario es la Junta de Comunidades de Castilla-La-Mancha que recibió el monte del ICONA al realizarse la transferencia de competencias forestales a las Comunidades Autónomas. En la Ilustración 2 se muestran las principales características del MUP nº 261.

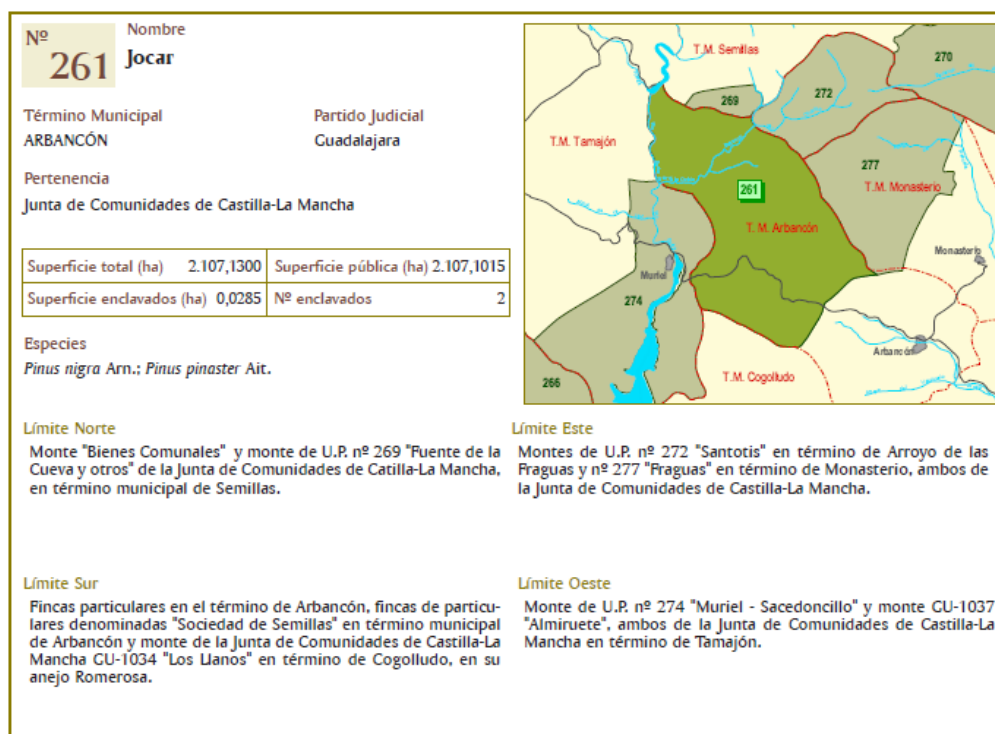


Ilustración 2. Ficha del MUP nº 261 extraído del Catálogo de Montes de Utilidad Pública de Castilla-La-Mancha (JCCM, 2015)

4.2. Historia

El dispositivo experimental utilizado se encuentra ubicado en una masa de *Pinus pinaster* en el Monte de Utilidad Pública (MUP) nº261 en Guadalajara, procedente de las repoblaciones del Plan General de Repoblación Forestal de España (PGRFE).

La repoblación fue realizada en los años 60-70 (por lo que la masa tiene entre 50 y 60 años de edad) por el Patrimonio Forestal del Estado durante la segunda etapa del PGRFE con el objetivo de defensa del embalse de Beleña. Para la ejecución de la repoblación se realizó una preparación del terreno mediante acaballonado con desfonde, realizando la plantación de manera lineal en la parte superior del caballón. En 1999 (a los 20-30 años de edad de la masa) se realizó una primera clara de aproximadamente el 50% de los

pies. Posteriormente, ante la necesidad de una segunda clara que aproximara a la masa a una densidad final, siendo ya el propietario y gestor del monte la Junta de Comunidades de Castilla-La-Mancha y gracias al proyecto de investigación FORADMIT la Universidad Politécnica de Madrid, se llevó a cabo una segunda actuación en la que se realizaron claras de distinto tipo y peso en parcelas para estudiar la respuesta a cada una de estas intervenciones.

4.3. Clima

La estación meteorológica situada en la presa del Embalse de El Vado, T.M. de Retiendas, es la más cercana al área de estudio, encontrándose a 910 msnm y a una distancia de unos 10 km de la zona de actuación. Se han tomado los datos climáticos (Tabla 6) con las correcciones altitudinales ya aplicadas de (De Frutos, 2017).

Tabla 6. Resumen climático de la zona de estudio. Tm (°C): Temperatura media mensual; P (mm): Precipitación media mensual (De Frutos, 2017)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Tm (°C)	3.7	4.7	7.1	8.6	12.5	17.3	21.0	21.0	17.4	12.0	7.2	4.5
P (mm)	65.7	58.3	38.1	63.5	70.3	44.1	24.8	18.2	41.4	62.3	76.6	79.6

- Temperatura media anual: 11.42 °C
- Precipitación anual: 642.9 mm
- Sequía estival: 2 meses (julio y agosto)
- Precipitación durante sequía estival: 43 mm
- Meses de helada segura: 3 meses (diciembre, enero y febrero)
- Meses de helada probable: 6 meses (marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre)

Se presenta un climodiagrama en el que se observa fácilmente la evolución de temperaturas y precipitaciones medias a lo largo del año, y el periodo de sequía estival en los meses de julio y agosto (Ilustración 3).

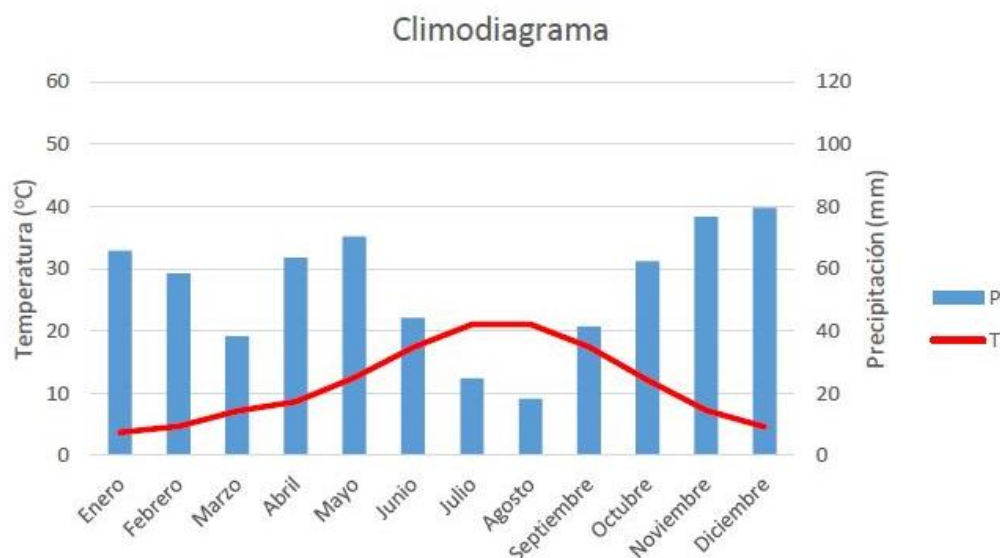


Ilustración 3. Climodiagrama de la zona de estudio (De Frutos, 2017)

Las clasificaciones bioclimáticas que corresponden son las siguientes:

- **Piso bioclimático:** Supramediterráneo
- **Ombrotipo:** Subhúmedo
- **Clasificación fitoclimática de Allué:** Subtipo VI (IV)₂ 10 nemomediterráneo genuino con vegetación del tipo melojar quejigar o hayedo.

4.4. Geología, edafología y topografía

Según el mapa MAGNA50 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), nuestra zona de estudio se encuentra situado principalmente sobre conglomerados de cuarcita y cuarzo (código 30), encontrándose al lado de pizarras negras homogéneas (código 4), areniscas y limos (código 5) y lutitas, areniscas, dolomías y margas (código 6). Se puede observar el mapa geológico en la Ilustración 4.

El Mapa de Suelos de España, escala 1:1 000 000 nos muestra que el área de estudio presenta cambisoles húmicos caracterizados por tener un horizonte A úmbrico o móllico con elevados niveles de materia orgánica.

La zona de actuación se encuentra a una altitud media de 1070 metros sobre el nivel del mar. Las pendientes son suaves de entre 10 y el 20% (Ilustración 5), con un relieve

determinado por la preparación del terreno realizada en el momento de la plantación en forma de acaballonado con desfonde.

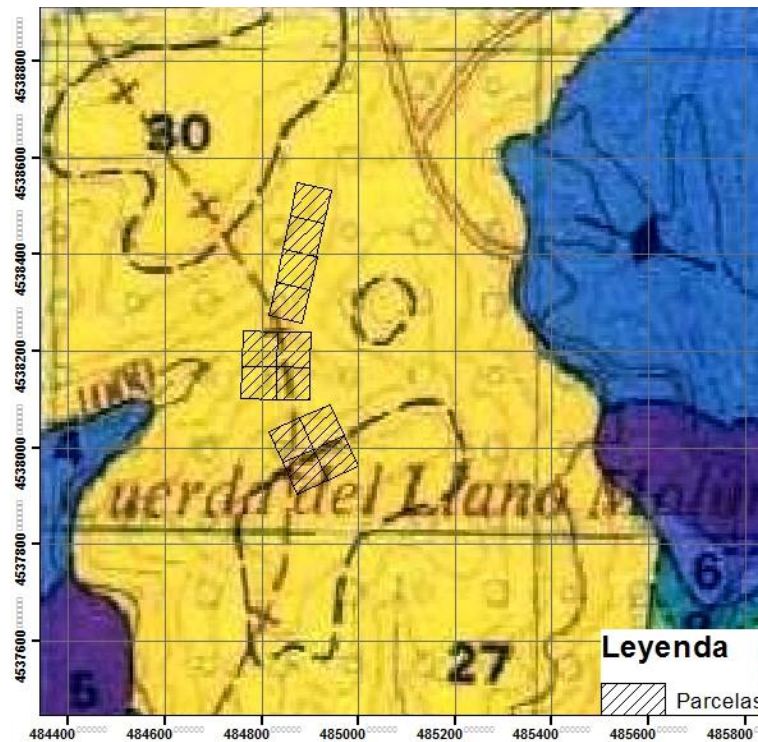


Ilustración 4. Mapa geológico de la zona de estudio (IGME)

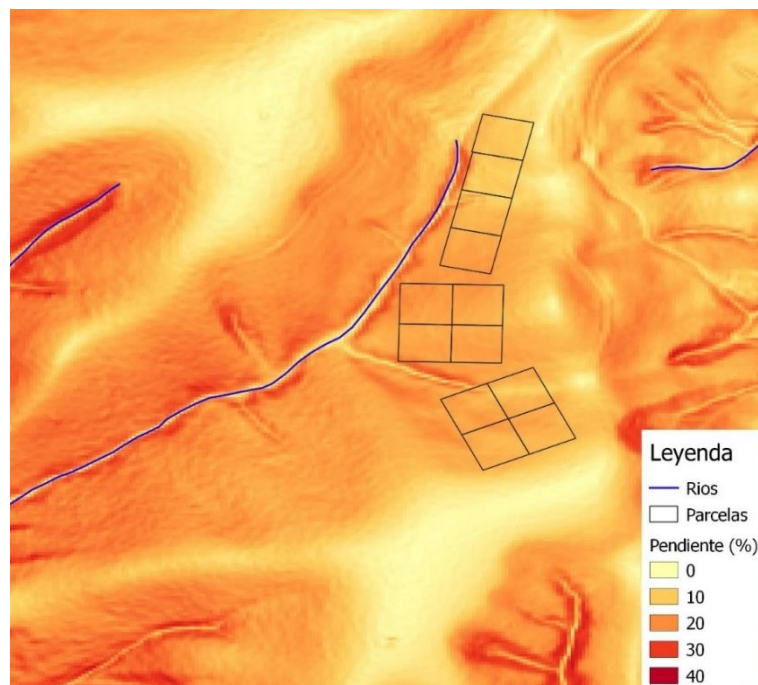


Ilustración 5. Mapa de pendientes de la zona de estudio (Elaboración propia)

4.5. Hidrología

El área de estudio pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Tajo. Cerca de donde están situadas las parcelas pasa el Barranco de Valdelapiente que, al igual que el resto de arroyos de carácter temporal de la zona, van a parar al Río Sorbe para después ir a desembocar al Embalse de Beleña (Ilustración 6). Las repoblaciones de pinos de la zona se hicieron con carácter protector para reducir la cantidad de sedimentos arrastrados hasta este embalse.

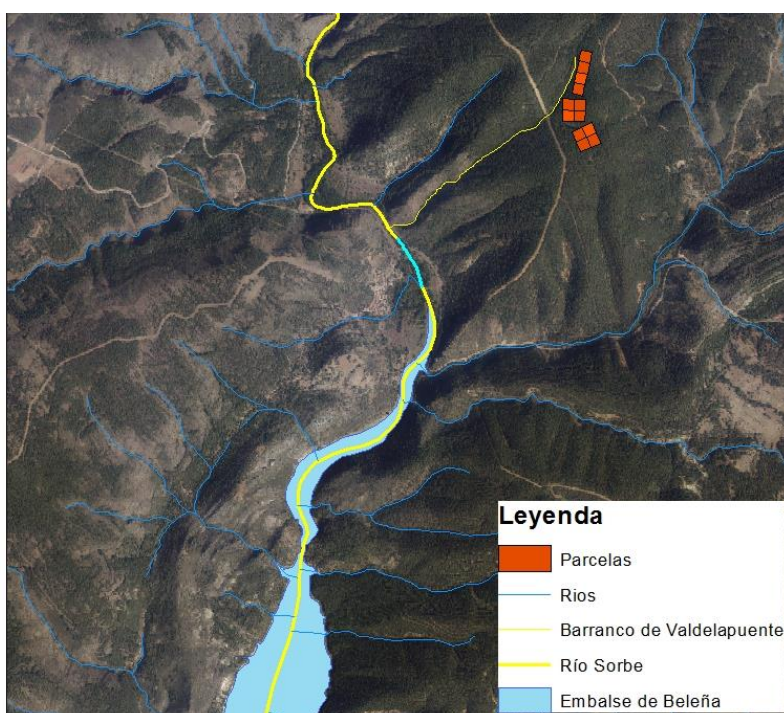


Ilustración 6. Hidrografía del área de estudio (Elaboración propia)

4.6. Vegetación

La especie principal de la zona, resultado de la actividad repobladora, es el pino resinero (*Pinus pinaster* Ait. subsp. *mesogeensis*). Además de esta especie, se observa la presencia de otras especies en el área de estudio (Tabla 7): ejemplares de encinas (*Quercus ilex* L.), quejigos (*Quercus faginea* Lam.) y rebollos (*Quercus pirenaica* L.) se pueden ver en los claros de la masa o bajo la cubierta del pinar, jaras (*Cistus* sp.), romeros (*Rosmarinus officinalis* L.), zarzas (*Rubus ulmifolius* Schott) y rosales (*Rosa* sp.) se encuentran extendidos como sotobosque por toda la masa. Se pueden encontrar ejemplares de enebros de tamaño considerable, aunque no sean muchos en cantidad.

Tabla 7. Vegetación existente en la zona de estudio (De Frutos, 2017)

<i>Quercus ilex</i> L.	<i>Juniperus communis</i> L.	<i>Acer monspessulanum</i> L.
<i>Quercus faginea</i> Lam.	<i>Juniperus thurifera</i> L.	<i>Pinus sylvestris</i> L.
<i>Quercus pirenaica</i> L.	<i>Lavandula pedunculata</i> Mill.	<i>Erica arborea</i> L.
<i>Cistus ladanifer</i> L.	<i>Daphne gnidium</i> L.	<i>Rosa</i> sp.
<i>Cistus laurifolius</i> L.	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	<i>Rubus</i> sp.
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	<i>Hedera hélix</i> L.	

4.7. Características dasométricas

Se resumen a continuación las características dasométricas básicas de las parcelas experimentales (Tabla 8), mostrando la densidad de la masa y el área basimétrica (G) de la misma. Esta última característica es de vital importancia ya que las claras se han realizado en función del área basimétrica.

Tabla 8. Características dasométricas básicas de las parcelas experimentales (De Frutos, 2017)

Bloque	Parcela	Densidad (pies/ha)	G (m ²)
4	1	483.7	18.0
	2	546.9	20.0
	3	461.2	19.7
	4	473.5	18.8
5	1	534.7	16.1
	2	569.4	15.8
	3	606.1	17.5
	4	524.5	15.8
6	1	593.9	18.4
	2	565.3	17.1
	3	514.3	17.5
	4	593.9	18.1

4.8. Fauna

Se mencionan en las Tablas 9 y 10 las especies de fauna que pueden tener algún tipo de relación con la madera muerta o árboles en pie por utilizarla en alguna fase de su ciclo vital y por tanto ser relevantes para este estudio.

Tabla 9. Especies de la clase Insecta presentes en el área de estudio (De Frutos, 2017)

Clase Insecta	<i>Thaumetopoea pytiocampa</i>
	<i>Matsucoccus feytaudi</i>
	<i>Pissodes castaneus</i>
	<i>Ips sexdentatus</i>
	<i>Tomicus minor</i>
	<i>Tomicus piniperda</i>
	<i>Monochamus galloprovincialis</i>

Tabla 10. Especies de aves y pequeños mamíferos presentes en el área de estudio (De Frutos, 2017)

Clase	Nombre científico	Nombre vulgar
Aves	<i>Hieraaetus pennatus</i>	Águila calzada
Aves	<i>Aquila chrysaetos</i>	Águila real
Aves	<i>Tyto alba</i>	Lechuza común
Aves	<i>Bubo bubo</i>	Búho real
Aves	<i>Picus viridis</i>	Pito real
Aves	<i>Parus caeruleus</i>	Herrerillo común
Aves	<i>Pica pica</i>	Urraca
Aves	<i>Corvus corax</i>	Cuervo
Aves	<i>Garrulus glandularius</i>	Arrendajo
Aves	<i>Dendrocopos major</i>	Pico picapinos
Aves	<i>Erithacus rubecula</i>	Petirrojo
Aves	<i>Turdus merula</i>	Mirlo común
Mamalia	<i>Erinaceus europaeus</i>	Erizo europeo
Mamalia	<i>Sorex granarius</i>	Musaraña ibérica
Mamalia	<i>Sciurus vulgaris</i>	Ardilla
Mamalia	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo

5. Metodología

5.1. División en bloques y parcelas

El dispositivo experimental se encuentra dividido en 3 bloques, y dentro de cada bloque existen 4 parcelas. Las parcelas son de forma cuadrangular con lado de 50 metros. Además, se han dejado 20 metros más de separación entre parcelas como seguridad para evitar el efecto borde, teniendo así una parcela de seguridad de 70x70 metros en la que se incluye la parcela experimental real de 50x50 metros. En tres parcelas de cada bloque se han realizado claras con distinto tipo y peso, mientras que una cuarta se ha conservado como parcela control sin actuación alguna. En la Tabla 11 se muestran las actuaciones realizadas y en la Ilustración 7 la distribución de las parcelas.

Bloque 4:

- Parcela 1 (B4P1): Parcela control. Sin actuación.
- Parcela 2 (B4P2): Clara baja con peso del 35% en G.
- Parcela 3 (B4P3): Clara baja con peso del 20% en G.
- Parcela 4 (B4P4): Clara de selección de pies de provenir con peso del 35% en G.

Bloque 5:

- Parcela 1 (B5P1): Parcela control. Sin actuación.
- Parcela 2 (B5P2): Clara de selección de pies de provenir con peso del 35% en G.
- Parcela 3 (B5P3): Clara baja con peso del 35% en G.
- Parcela 4 (B5P4): Clara baja con peso del 20% en G.

Bloque 6:

- Parcela 1 (B6P1): Parcela control. Sin actuación.
- Parcela 2 (B6P2): Clara baja con peso del 35% en G.
- Parcela 3 (B6P3): Clara baja con peso del 20% en G.
- Parcela 4 (B6P4): Clara de selección de pies de provenir con peso del 35% en G.

Tabla 11. Actuaciones llevadas a cabo en las distintas parcelas del dispositivo experimental (Elaboración propia)

Actuación	Bloque-Parcela
Parcela control. Sin actuación (PC)	B4 P1
	B5 P1
	B6 P1
Clara baja con peso del 35% en G (Cb35)	B4 P2
	B5 P3
	B6 P2
Clara baja con peso del 20% en G (Cb20)	B4 P3
	B5 P4
	B6 P3
Clara de selección de pies de porvenir. Peso del 35% en G (Cs35)	B4 P4
	B5 P2
	B6 P4

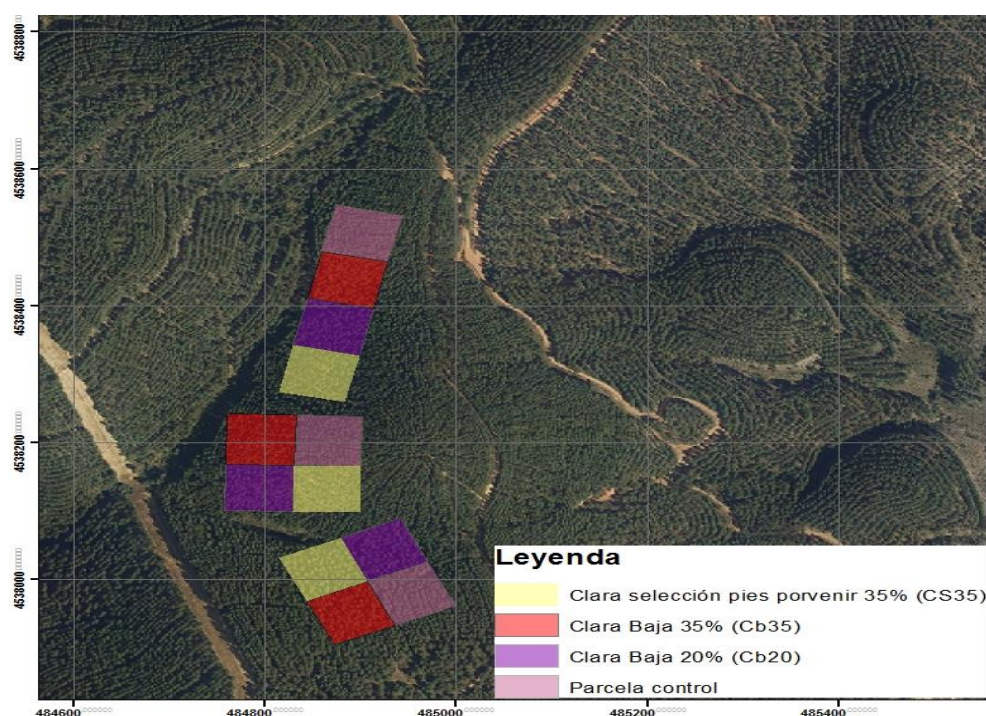


Ilustración 7. Mapa de situación de las parcelas del dispositivo experimental (Elaboración propia)

Se han realizado estudios distintos en las parcelas control y parcelas con tratamientos selvícolas. En las parcelas control se ha realizado un inventario, cuantificando y caracterizando la madera muerta existente. En las parcelas con tratamientos selvícolas se ha realizado la primera fase del análisis del proceso de descomposición a un año de

la ejecución de las claras. En ambos casos, las variables que se han medido son aquellas relacionadas con su grado de descomposición y aquellas que permiten cuantificar el volumen de madera muerta.

5.2. Evaluación de la madera muerta en parcelas control

En las parcelas control, donde no ha habido ningún tipo de intervención desde el inicio del experimento (pero sí anteriormente), se ha cuantificado el volumen de madera muerta, así como medido ciertas variables en relación al grado de descomposición. La metodología aplicada para el inventario se ha adaptado de (Comas y Vayreda, 2016) y se explica a continuación.

Se ha dividido la madera muerta en distintas categorías según su tamaño y su posición. Se muestra a continuación la clasificación empleada, definiendo cada categoría y explicando la metodología usada y las variables medidas. Para la medición de todas las variables se ha usado únicamente una forcípula y una cinta métrica.

Además de las categorías que se explican a continuación, también se ha considerado interesante estudiar la cantidad de madera muerta sobre pies vivos (MMPV) y la madera enterrada (ME), aunque finalmente no se haya realizado.

La MMPV se define como aquella madera que todavía forma parte del pie vivo pero que se encuentra seca, sin funcionalidad. Puede producirse por causa de alguna enfermedad, hongo o insecto, o puede que el propio pie haya secado esas ramas al resultar inútiles por no recibir luz solar. Al tratarse de ramas insertadas en árboles de elevada altura, su medición para calcular volúmenes se hace compleja. La ME es aquella que queda enterrada bajo elementos finos del suelo que se han desplazado y han ido cubriendo las piezas de madera, necesitando desenterrarlas (alterando considerablemente los procesos que se puedan dar en esa zona) para su extracción y medición. La ME también incluye la madera subterránea perteneciente al sistema radical, fracción de difícil cuantificación y que únicamente puede realizarse mediante procesos destructivos. En cualquier caso, aunque estos elementos puedan tener relevancia, no se han incluido en este estudio debido a la dificultad de realizar las mediciones y la falta de tiempo para ello.

5.2.1. Madera muerta en pie (MMP)

Se considera madera muerta en pie aquellos pies de cualquier especie leñosa muerta que se encuentren en pie o tumbados en el suelo, pero parcialmente arraigados. Se incluyen en esta categoría los tocones o estacas, aunque no lleguen a 1.30 m de altura

Las variables que se han medido para cada elemento de MMP encontrado son:

- **Pies cercanos:** Numeración de los pies vivos (numerados por el proyecto FORADMIT para otros estudios) más cercanos para tener una ubicación aproximada del elemento
- **Especie (Sp.):** Cuando sea posible su identificación.
- **Tipo:** Indica si el pie es un árbol entero, una estaca o un tocón, diferenciado entre aquellos que provienen por perturbaciones naturales y aquellos originados por corta mecánica (Tabla 12). Es necesaria esta clasificación ya que la manera de calcular el volumen del pie es diferente para cada tipo.

Tabla 12. Tipos de MMP. Dn: Diámetro normal

Código	Nombre	Descripción
A	Árbol	Pie con el extremo de la copa entera. Alturas y Dn de pie mayor, al menos 130 cm y 7.5 cm respectivamente. Relativo a los tipos de aspecto visual del 1 a 5 de la Ilustración 8.
E	Estaca	Pie sin el extremo superior por rotura natural o corta. La altura es superior a 130 cm y el Dn mayor de 7.5 cm. Relativo a los tipos de aspecto visual del 6 a 8 de la Ilustración 8.
Tn	Tocón natural	Pie con el extremo roto por perturbaciones naturales, inferior a 130 cm y diámetro del extremo superior mayor de 7.5 cm.
Tc	Tocón cortado	Pie con el extremo cortado por medios mecánicos, inferior a 130 cm y diámetro del extremo del extremo superior mayor de 7.5 cm.

Se muestran unas fotos ejemplo de cada tipo de madera muerta (Imagen 1). Como en nuestra área de estudio no hemos encontrado ejemplos de estacas ni de árboles muertos en pie se adjuntan fotos de otros lugares.



Imagen 1. Distintos tipos de madera muerta en pie (MMP). A. Estacas en hayedo (Valle de Tosande septiembre 2019); B. Roble muerto en pie con elevado grado de descomposición (Lagunas de Neila septiembre 2019); C. Tocón cortado (MUP Júcar agosto 2019) (Fotografía propias)

- **Diámetro (D) (m):** Medido a altura normal (1.30 m) cuando se trate de árboles muertos en pie. Medido en su extremo superior cuando se trate de tocones que no lleguen a 1.30 m de altura.
- **Altura (H) (m)** del pie.

- **Estado de descomposición por aspecto visual:** Clasificación mostrada en la Ilustración 8 y en la Tabla 13. Quedan excluidos en este trabajo la clasificación 1 y 2 por hacer referencia a pies vivos.

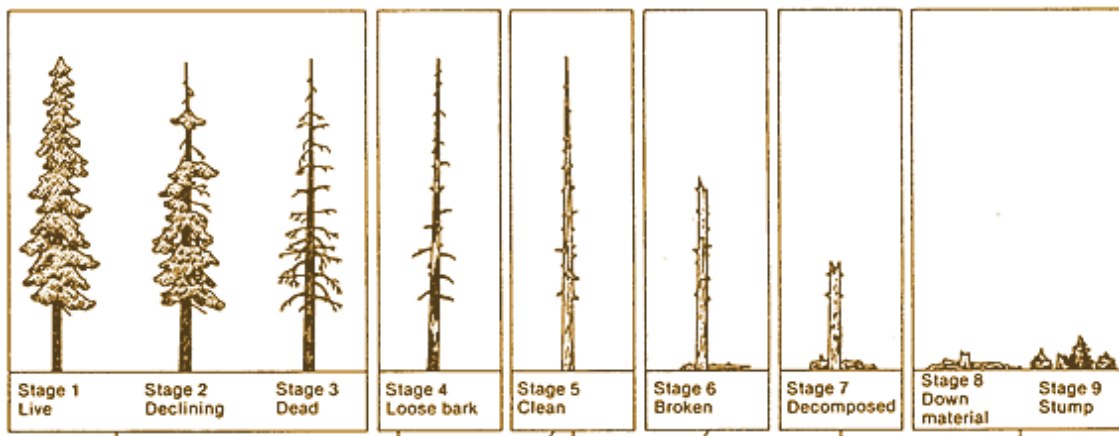


Ilustración 8. Estados de descomposición por aspecto visual (Comas y Vayreda, 2016)

Tabla 13. Estados de descomposición por aspecto visual (Comas y Vayreda, 2016)

Clasificación	Descripción
3	Muerto. Sin hojas, más del 50% de las ramillas caídas, la mayoría de las ramas presentes y posible extremo roto.
4	Muerto. No quedan hojas ni ramillas, más del 50% de las ramas perdidas y extremo normalmente roto.
5	Muerto. Sin la mayoría de las ramas, algunas bases de estas se mantienen vacías, y el extremo está roto.
6	Muerto. Sin ramas, algunas de la base del tronco están presentes pero podridas, Se mantiene aproximadamente 2/3 partes del pie.
7	Muerto. Sin ramas, mínimo de restos de ramas podridas en la base del tronco, Se mantiene aproximadamente la 1/2 del pie.
8	Muerto. Sin ramas ni restos de ramas podridas. Se mantiene aproximadamente 1/3 del pie.
9	Muerto. Tocón de madera y acumulaciones de restos.

- **Retención de la corteza:** Proporción de corteza retenida en el árbol según la Tabla 14 (Imagen 2).

Tabla 14. Clasificación de la retención de la corteza (Comas y Vayreda, 2016)

Código	Descripción
1	Toda la corteza presente.
2	Pérdida de corteza solo en zonas dañadas (< 5%).
3	La mayoría de la corteza presente, falta en algunas zonas concretas (de 6 a 25%).
4	Zonas del tronco sin corteza, se mantiene corteza firme en el tronco, pero también hay de suelta (de 26 a 50%).
5	La mayoría de la corteza se ha caído, se mantiene corteza firme en el tronco, pero también hay suelta (de 51 a 75%).
6	Sola quedan algunas zonas con corteza (de 76 a 99%).
7	Tronco sin corteza (100%).

- **Estado de la madera:** Clasificación de la textura de la madera según la Tabla 15 (Imagen 2).

Tabla 15. Clasificación del estado de la madera (Comas y Vayreda, 2016)

Código	Descripción
1	Madera no descompuesta.
2	Descomposición probablemente solo en el interior y/o deformaciones.
3	Descomposición limitada, madera esencialmente dura.
4	Mayoría de la madera dura pero la descomposición se extiende, presencia de madera blanda.
5	Madera dura y blanda equilibrada, con secciones esponjosas.
6	Más presencia de madera blanda y esponjosa que dura.
7	Toda la madera blanda o esponjosa, secciones de madera suelta.
8	Estructura vacía, madera exterior firme y dura.

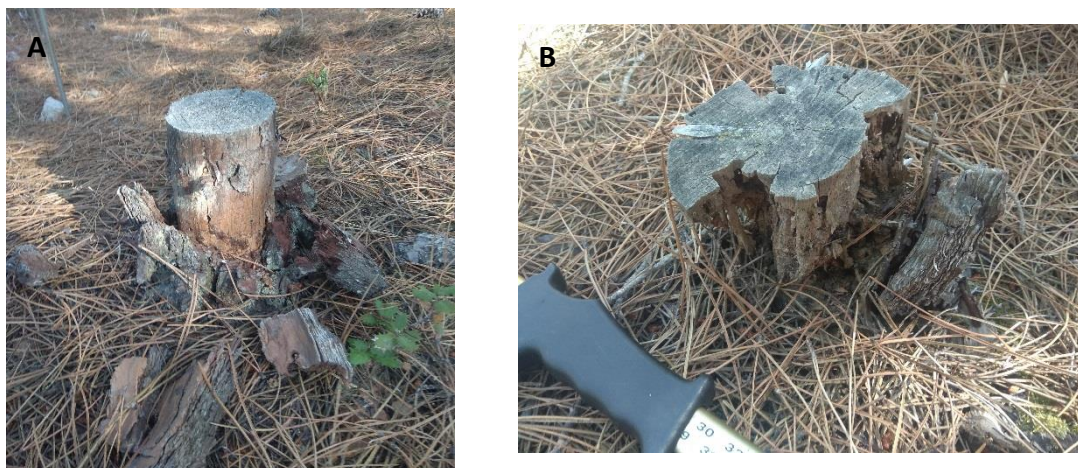


Imagen 2. A. Tocón cortado con clase de descortezado 6 y estado de la madera 2; B. Tocón cortado con clase de descortezado 6 y estado de la madera 4. (MUP 261 Júcar agosto 2019, fotografías propias).

De las variables anteriormente medidas, se ha utilizado la altura y el diámetro para calcular el volumen de MMP de la siguiente manera según el tipo que sea:

- Volumen de árbol (V_a)

El volumen de los árboles (tipo A de la Tabla 12), en pie o tumbados y arraigados, se estiman como el volumen del tronco desde la base hasta el extremo y se calcula como:

Ecuación 1. Cálculo del volumen de un árbol en pie
$$V_a (m^3) = \pi \cdot \left(\frac{Dn}{2}\right)^2 \cdot H \cdot Kfk$$

Donde Dn es el diámetro normal del pie, en m, H es su altura, en m, y Kfk es el coeficiente de forma del árbol para la clase diamétrica k .

- Volumen de estaca (V_e)

El volumen de las estacas, de los pies con el extremo roto (tipo E de la Tabla 12), se calcula de forma análogo como si se tratara de un árbol, con el diámetro normal (Dn en m) y altura hasta el punto de rotura (H en m), pero aplicando un coeficiente de forma alto (p.ej. de 0,8):

Ecuación 2. Cálculo del volumen de una estaca
$$V_a (m^3) = \pi \cdot \left(\frac{Dn}{2}\right)^2 \cdot H \cdot 0.8$$

- Volumen de tocón (V_t)

El cálculo para el volumen de los tocones (tipo T de la Tabla 12), pies sin extremo superior y de altura menor de 130 cm es:

Ecuación 3. Cálculo del volumen de un tocón
$$V_t (m^3) = \frac{\pi}{4} \cdot D_H^2 \cdot H$$

Dónde D_H es el diámetro medido en el extremo superior del tocón, en m, y H la altura hasta el extremo, en m.

5.2.2. Madera muerta gruesa en suelo (MMGS)

Madera muerta con diámetro superior a 7.5 cm de diámetro que se encuentra en suelo y no es capaz de sustentarse en pie por sí misma, es decir, son piezas desarraigadas (Imagen 3). Se incluyen tocones con raíces que hayan sido derribados y ya no se encuentren arraigados. No hay longitud mínima.



Imagen 3. Ejemplo de MMGS (MUP Júcar agosto 2019, fotografía propia)

Las variables que se han medido para cada elemento de MMGS encontrado son:

- **Pies Cercanos:** Numeración de los pies vivos más cercanos para tener una ubicación aproximada del elemento.

- **Longitud (L) (m):** La longitud de la pieza se considera desde el extremo más grueso hasta que el diámetro se iguala a 7.5 cm. Se excluyen las partes más finas de 7.5 cm si existen (ya no se considera MMGS sino madera muerta media o fina en suelo, como se explica más adelante).
- **Diámetro $L/2$ (m)** medido a mitad de la longitud de la pieza ($L/2$).
- **Grado de descomposición:** Grado de descomposición general atendiendo a distintos factores, basándose en la condición mayoritaria de la pieza (Tabla 16). Se prioriza la textura de la madera para la clasificación y se da un carácter secundario a los demás factores.

Tabla 16. Grados de descomposición de la madera (Comas y Vayreda, 2016)

Propiedad	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Textura madera	Intacta, dura.	Intacta, de dura a parcialmente podrida.	Dura, piezas grandes, parcialmente podrida	Piezas pequeñas, en bloques	Diversas piezas pequeñas porciones blandas
Porción sobre el suelo	Elevada sobre los puntos de apoyo	Elevada pero ligeramente flácida	Flácida cerca del suelo, o rota	Completamente apoyada sobre el suelo, hundida	Completamente apoyada sobre el suelo, parcialmente enterrada
Ramillas <3cm (si originalmente eran presentes)	Ramillas presentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Corteza	Corteza intacta	Intacta o parcialmente absenta	Trazas de corteza	Ausentes	Ausentes
Raíces invasoras	Ausentes	Ausentes	En albura	En duramen	En duramen

- **Origen:** Cuando sea posible, indica si el elemento viene por perturbación natural (N) o se encuentra cortado por medios mecánicos procedentes de actividad humana (C).

- **Inclinación:** Indica la posición del elemento respecto a la curva de nivel (Tabla 17). La inclinación que muestra el elemento tiene importancia ya que cuanto más próximo a la curva de nivel, retendrá mayor cantidad de materia orgánica, humedad, sedimentos... pudiendo tener repercusión en el grado de descomposición del elemento y creando condiciones específicas que pueden favorecer la germinación y/o crecimiento de otras especies.

Tabla 17. *Inclinación del elemento respecto a la curva de nivel (Elaboración propia)*

Código	Significado
CN	En curva de nivel (0º)
0-45	Entre 0º y 45º
45-90	Entre 45º y 90º
LMP	En línea de máxima pendiente (90º)

- **Porcentaje visual de descomposición (%):** Porcentaje visual de descomposición del elemento en 6 intervalos (0; 0-5; 5-25; 25-50; 50-75; >75) %
- **Zona de descomposición:** Zona del elemento donde se concentra la descomposición (Tabla 18). En el caso de que la descomposición se presente en varias zonas, o no haya una zona donde se concentre de manera clara, se indicará la categoría 5 Indiferente.

Tabla 18. Zona en la que se concentra la descomposición/descortezado del elemento (Elaboración propia)

Código	Zona de descomposición
1	Superior
2	Suelo
3	Lateral aguas arriba
4	Lateral aguas abajo
5	Indiferente

- **Raso:** Indica si el elemento se encuentra al raso (1) o bajo la copa de otro árbol (2).
- **Perforadores:** Presencia de perforadores (Si/No).
- **Estado de la madera:** Clasificación de la textura de la madera según la Tabla 15, anteriormente expuesta en el apartado de MMP.
- **Retención de la corteza:** Proporción de corteza retenida en el árbol según la Tabla 14, anteriormente expuesta en el apartado de MMP.

De las variables anteriormente medidas, utilizaremos la longitud y el diámetro a mitad de longitud para calcular el volumen de MMGS. Se asume que la forma de la MMGS se asemeja a la de un cilindro, calculando su volumen de la siguiente manera:

Ecuación 4. Cálculo del volumen de la MMGS

$$V_{MMGS} (m^3) = \frac{\pi}{4} \cdot D_{L/2}^2 \cdot L$$

5.2.3. Madera muerta media en suelo (MMMS) y madera muerta fina en suelo (MMFS)

La MMMS comprende la madera muerta en el suelo no arraigada con diámetro comprendido entre 2.5 y 7.5 cm. Ante la dificultad de muestrear toda la MMMS por parcela, se ha decidido realizar un muestreo sistemático mediante 10 parcelas circulares

de 1 m de radio en cada parcela control, que se han distribuido tal y como se muestra en la Ilustración 9. En este muestreo se ha recogido y medido el diámetro medio y longitud de cada pieza de MMMS encontrada. Además, posteriormente se han desecado en una estufa a 103°C y se han realizado pesadas cada media hora hasta que la diferencia entre dos medidas consecutivas ha sido inferior al 1%.

Con el diámetro y longitud se puede calcular el volumen medio de MMMS utilizando la ecuación 4 en cada parcela circular y extrapolarlo a la hectárea.

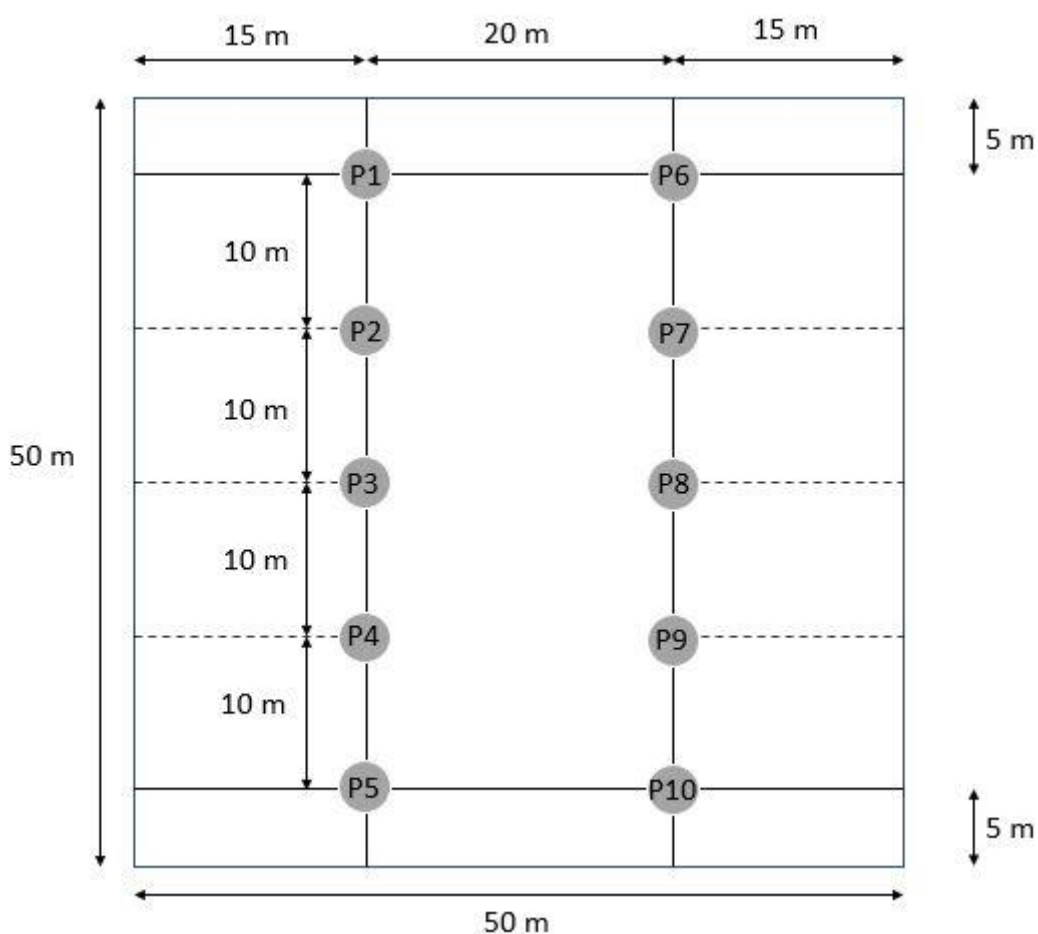


Ilustración 9. Distribución de las parcelas en el muestreo sistemático de MMMS y MMFS dentro de una parcela ejemplo de 50x50 (Elaboración propia)

La madera muerta fina en suelo (MMFS) incluye aquella madera muerta no arraigada con diámetro inferior a 2,5 cm. Aunque normalmente no se han realizado estudios ni inventarios de MMFS dado su dificultad, no significa que no tenga importancia a nivel ecológico. En este trabajo tampoco se ha realizado un muestreo para esta categoría. Sin

embargo, aprovechando el muestreo sistemático realizado para la MMMS, se ha estimado la fracción de cabida cubierta que representa la MMFS en cada una de las esas parcelas.

5.2.4. Estimación del CO₂ retenido por parte de la madera muerta

Para estimar el CO₂ acumulado en la madera muerta se ha seguido la metodología propuesta por IPCC (2003) resumida por Guerra y Sánchez (2013). En primer lugar, debemos convertir el volumen de madera cuantificado en biomasa mediante las ecuaciones 5, 6 y 7, teniendo en cuenta la densidad específica de la madera de nuestra especie, y aplicando un factor de corrección en función del grado de descomposición de la madera. Para aquellos elementos con sistema radical arraigado se ha calculado de manera separada la biomasa correspondiente a la parte aérea y la biomasa correspondiente a la parte radical. Como desconocemos si la descomposición radical es mayor o menor que en la parte aérea, se ha decidido realizar el cálculo usando el valor mínimo y máximo del factor de reducción, obteniendo una horquilla de valores posibles que sirven como estimación.

Ecuación 5. Cálculo de la biomasa aérea de la madera muerta

$$B_{\text{aérea}} \text{ (t/ha)} = V \text{ (m}^3\text{/ha)} * \text{BEFD (t/m}^3\text{)} * fr$$

Ecuación 6. Cálculo de la biomasa radical de la madera muerta

$$B_{\text{radical}} \text{ (t/ha)} = V \text{ (m}^3\text{/ha)} * \text{BEFD (t/m}^3\text{)} * R * fr$$

Ecuación 7. Cálculo de la biomasa total

$$B_{\text{total}} \text{ (t/ha)} = B_{\text{aérea}} + B_{\text{radical}}$$

Siendo:

- $B_{\text{aérea}} \text{ (t/ha)}$: Biomasa de la parte aérea, que se corresponde con el volumen de madera muerta cuantificado (para elementos no arraigados, sin sistema radical).
- $B_{\text{radical}} \text{ (t/ha)}$: Biomasa de la parte radical. Solo calculable en madera muerta en pie con sistema radical arraigado (tocones, estacas y arboles muertos en pie).
- $B_{\text{total}} \text{ (t/ha)}$: Suma de la $B_{\text{aérea}}$ y B_{radical} .
- $V \text{ (m}^3\text{/ha)}$: Volumen de madera muerta cuantificado.

- BEFD (t/m^3): factor de expansión de biomasa por densidad específica.
- R (Adimensional): Relación raíz-vástago.
- fr (Adimensional): Factor de reducción en función del grado de descomposición.

Una de las fichas técnicas del Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO, 2006) nos proporciona el BEFD y el R correspondientes a distintas especies, teniendo para *Pinus pinaster* un BEFD = 0.55 t/m^3 y una R = 0.284. El fr depende del grado de descomposición de madera. El IPCC (2003) establece tres categorías (sano, intermedio y podrido). Se ha decidido, siguiendo el ejemplo de Guerra y Sánchez, (2013), reclasificar el estado de descomposición de madera aplicados en este estudio para reducirlo a las tres categorías mencionadas (Tabla 19).

Tabla 19. Reclasificación del estado de la madera a las clases de decaimiento del IPCC y factor de reducción correspondiente a cada clase (Elaboración propia)

Estado madera	Clases decaimiento IPCC	Factor de reducción (fr)
1	Sano	1
2		
3	Intermedio	0.8
4		
5		
6	Podrido	0.45
7		
8		

Una vez calculada la biomasa, debemos saber cuál es la fracción de carbono (FC) correspondiente. Se ha estimado que la FC de todas las maderas se encuentra alrededor del 50% de su biomasa, recomendando usar este valor en caso de no existir valores concretos para la especie deseada (Guerra y Sánchez, 2013). La ficha técnica de MITECO, (2006) nos proporciona la FC concreta para *Pinus pinaster*, siendo FC = 0.55. De esta manera, podemos calcular finalmente la cantidad de CO_2 almacenada en la madera muerta de la siguiente manera:

Ecuación 8. Cálculo del CO_2 retenido

$$\text{CO}_2 (\text{t/ha}) = \text{Biomasa (t/ha)} * \text{FC}$$

En la Tabla 20 se resumen los factores correspondientes a la especie *Pinus pinaster*.

Tabla 20. Resumen de los factores correspondiente a *Pinus pinaster* (Elaboración propia, factores extraídos de Guerra y Sánchez, (2013))

BEFC (t/m ³)	Factor de expansión de biomasa por densidad específica	0.55
R (Adimensional)	Relación raíz-vástago	0.284
FC (Adimensional)	Fracción de Carbono	0.511

5.3. Análisis del proceso de descomposición de madera muerta en parcelas con tratamientos selvícolas

Como se ha comentado anteriormente, en cada parcela en la que se han aplicado las claras de distinto tipo e intensidad se ha depositado unos 24 m³/ha de la madera apeada en la mitad de la superficie, dejando el pie apeado entero en el suelo, sin modificar nada del mismo para evaluar el papel de la madera muerta como elemento acelerador de la diversificación del pinar, su efecto nodriza sobre plántulas, tanto de plantaciones como de regeneración natural, y más efectos que pueda tener sobre el ecosistema. Principalmente, se ha medido variables relacionadas con el grado de descomposición para dar una descripción de cuál es la situación un año y medio después de la realización de las claras.

Se ha etiquetado cada árbol tirado con una chapa con un número identificativo. Para cada pie evaluado se ha apuntado el nº identificativo y si se encuentra en curva de nivel o no. Se ha dividido cada pie tirado en trozas de dos metros hasta alcanzar el diámetro mínimo inventariable, fijado en 7.5 cm. Para cada troza se han medido las siguientes variables:

- **Diámetro superior (D1) (cm):** Diámetro más grueso de la troza. Solo la primera troza tendrá D1. En el resto, el D2 de la troza anterior se corresponde con el D1 de la troza siguiente.
- **Diámetro inferior (D2) (cm):** Diámetro más fino de la troza. El D2 de la última troza siempre será 7.5 cm.
- **Longitud (L) (m):** Será de 2 metros en todas las trozas a excepción de la última, que será la longitud hasta alcanzar el diámetro mínimo inventariable (7.5 cm).

- **Porcentaje visual de descortezado (%):** Porcentaje de descomposición de la corteza en 6 intervalos (0; 0-5; 5-25; 25-50; 50-75; >75) %.
- **Grado de descomposición:** Según lo descrito en la Tabla 16.
- **Zona de descomposición (descortezado):** Zona del elemento donde se concentra la descomposición (descortezado). En el caso de que la descomposición se presente en varias zonas, o no haya una zona donde se concentre de manera clara, se indicará la categoría 5 Indiferente (Tabla 18).
- **Raso:** Indica si el elemento se encuentra al raso (1) o bajo la copa de otro árbol (2).
- **Inicio de inserción de ramas muertas:** Se indica la troza en la que se aprecia presencia de inserciones de ramillas en el tronco.
- **Inicio de copa viva:** Se indica la troza en la que aparecen ramas insertadas en las que se aprecia presencia de acículas.
- **Perforadores:** Presencia de perforadores (Sí/No).
- **Porcentaje en contacto con el suelo (%):** Porcentaje del pie que está en contacto con el suelo.

5.3.1. Cálculos y estadísticos

Para calcular el volumen de cada troza se ha utilizado la fórmula de volumen de un cono truncado, del que conocemos el radio de la base inferior, la base superior y su altura:

Ecuación 9. Cálculo del volumen de una troza (cono truncado)

$$V_{\text{cono truncado}} = \frac{L\pi}{3} (R_1^2 + R_2^2 + R_1 * R_2)$$

Siendo L la longitud de cada troza y R_1 y R_2 los radios inferiores y superiores de cada troza.

Para determinar si hay diferencias significativas en el porcentaje de descortezado para los distintos tratamientos silvícolas aplicados, se ha realizado un contraste de hipótesis para proporciones mediante un test Z de normalidad corregido por Bonferroni. Se realiza esta corrección para disminuir el riesgo de cometer un error del tipo I ya que al existir tres tratamientos (Cb20, Cb35 y Cs35), al realizar el contraste de hipótesis en parejas se realiza un total de dos análisis sobre cada tratamiento, aumentando el riesgo de rechazar la hipótesis nula cuando debería haberse aceptado.

A modo de ejemplo, las hipótesis planteadas entre el tratamiento Cb20 y Cb35 son:

- $H_0: p(\text{Cb20}) = p(\text{Cb35})$ La proporción de elementos incluidos en la clase 0 respecto al número total de elementos es igual en el tratamiento Cb20 que en el tratamiento Cb35.
- $H_1: p(\text{Cb20}) \neq p(\text{Cb35})$ La proporción de elementos incluidos en la clase 0 respecto al número total de elementos es significativamente diferente en el tratamiento Cb20 que en el tratamiento Cb35.
- Nivel de significación $\alpha = 0.05$. Esta significancia se divide entre dos por ser contraste de hipótesis a dos colas, y entre dos nuevamente para aplicar la mencionada corrección de Bonferroni.
 - $\alpha_{\text{original}} = 0.05$
 - $\alpha_{\text{a dos colas}} = 0.025$
 - $\alpha_{\text{corregida por Bonferroni}} = 0.0125$

Este mismo planteamiento se ha aplicado para contrastar el resto de tratamientos, resultando un total de 3 análisis:

- Cb20 – Cb35
- Cb20 – Cs35
- Cb35 – Cs35

Además, se ha realizado una estadística descriptiva analizando la distribución de los elementos en las distintas clases de cada variable.

6. Resultados

6.1. Madera muerta en parcelas control

6.1.1. Cuantificación del volumen de madera muerta

Se muestran a continuación los volúmenes medios cuantificados de cada categoría de madera muerta en las parcelas control (Tabla 21). El volumen total de madera muerta medio es de 4.04 m³/ha, con un mínimo de 3.73 m³/ha y un máximo de 4.23 m³/ha. El volumen MMP y MMGS supone un 84% de la madera muerta total.

Tabla 21. Tabla resumen de la distribución de volumen entre las distintas fracciones de madera muerta (MMP: Madera muerta en pie; MMGS: Madera Muerta Gruesa en Suelo; Vtotal: Volumen total; CWD: Coarse Wood Debris)

Volumen medio		
	m ³ /ha	%
MMP	2.09	51.75%
MMGS	1.30	32.22%
MMMS	0.65	16.04%
V_{total}	4.04	100%
MMP +MMGS	3.39	84%

En la Ilustración 10 se muestra la distribución de las fracciones en las distintas parcelas y en la Ilustración 11 la distribución media.

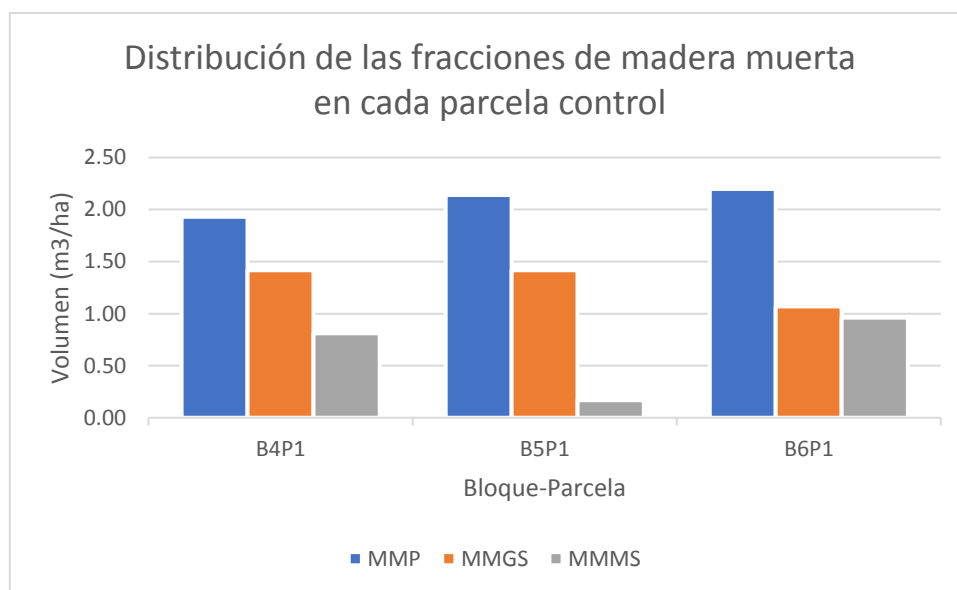


Ilustración 10. Distribución de las fracciones de madera muerta en cada parcela control (Elaboración propia)

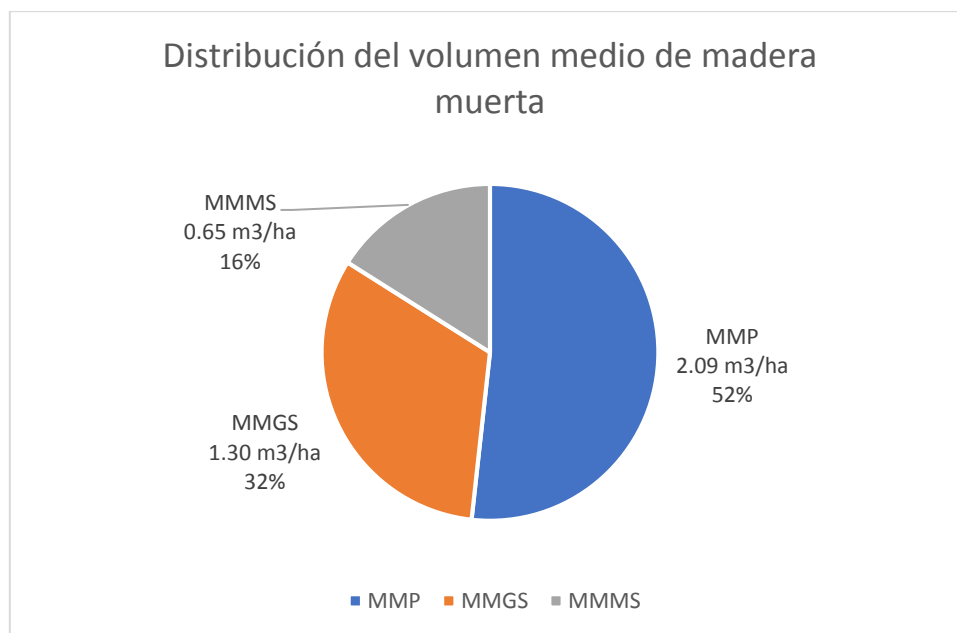


Ilustración 11. Distribución del volumen medio de madera muerta

Madera muerta en pie (MMP)

La MMP representa la mitad de la madera muerta inventariada en las parcelas control. El 100% de ella son tocones de pino resinero cortados por medios mecánico a excepción

de un enebro muerto en pie encontrado en la parcela control del Bloque 6. Los tocones tienen un diámetro medio de 18.9 cm y una altura media de 22 cm.

El 97% de los tocones presentan un grado de retención de corteza 5, lo que quiere decir que la mayoría de la corteza (del 51 al 75%) se ha caído, manteniéndose tanto corteza firme en el tronco, como corteza suelta. El estado de descomposición de la madera se encuentra en su mayoría distribuida entre las clases 2, 3 y 4, con un 36%, 19% y 33%, respectivamente.

Madera muerta gruesa en suelo (MMGS)

La madera muerta gruesa en suelo representa un 32% de la madera muerta total y presenta un equilibrio entre aquella que proviene claramente de cortas mecánicas (54%) y la que proviene de manera natural (46%). El diámetro medio es de 11.7 cm y la longitud media de 1.07 m (Tabla 22).

La mayor parte de la MMGS presenta un grado de descomposición entre la clase 2 (70%) y 3 (22%), pasando de piezas intactas duras o parcialmente podridas a elementos que ya se dividen en piezas, aunque siguen siendo duras y parcialmente podridas. El porcentaje de descomposición visual está repartido en su mayoría entre los intervalos 5-25, 25-50 y 50-75, con un 21%, 30% y 35%, respectivamente. El estado de descomposición de la madera varía entre la clase 2 (37%), presentando únicamente descomposición en el interior y deformaciones, pasando por la clase 3 (15%) hasta la clase 4 (38%) donde se inicia la extensión de la descomposición y la presencia de madera blanda, siendo mayoritaria aún la madera dura. El grado de retención de la corteza se encuentra entre la clase 5 (21%) y 6 (71%), es decir, habiendo perdido entre la mitad y la totalidad de la corteza.

La gran mayoría de los elementos de MMGS (86%) no presentan descomposición en una zona determinada del elemento, sino que se presenta de manera indiferente tal y como indica la clase 5.

Tabla 22. Estadística descriptiva de algunas variables de la madera muerta gruesa en suelo (MMGS) (Explicación de los códigos en el apartado 5.2.2. Madera muerta gruesa en suelo (MMGS)) (Elaboración propia)

Grado descomposición	Nº trozas	% trozas	Estado madera	Nº trozas	% trozas
1	2	2.17%	1	1	1.09%
2	64	69.57%	2	34	36.96%
3	20	21.74%	3	14	15.22%
4	6	6.52%	4	35	38.04%
			5	8	8.70%

% visual descomposición	Nº trozas	% trozas	Retención corteza	Nº trozas	% trozas
0	0	0.00%	1	0	0.00%
0-5	5	5.43%	2	2	2.17%
5-25	19	20.65%	3	1	1.09%
25-50	28	30.43%	4	4	4.35%
50-75	32	34.78%	5	19	20.65%
>75	8	8.70%	6	65	70.65%
			7	1	1.09%

Madera muerta media en suelo (MMMS)

El muestreo sistemático realizado arroja que existe un promedio de 0.65 m³/ha de MMMS en las parcelas control (Tabla 23). El muestreo realizado presenta un error del 27.39% (error relativo de 0.18 m³/ha). Ha habido presencia de uno o dos elementos de MMMS en 13 de las 30 parcelas inventariadas, mientras que en los 17 restantes no se ha detectado ningún elemento (Imagen 4).

Tabla 23. Volumen de MMMS en cada parcela control y promedio (Elaboración propia)

Bloque-Parcela	V (m ³ /ha)
B4P1	0.81
B5P1	0.17
B6P1	0.96
Promedio	0.65

La biomasa obtenida para la MMMS es la que se muestra en la Tabla 24, con un promedio de 213.48 kg/ha. En la Ilustración 12 se observa la distribución del volumen y biomasa de la MMMS en las distintas parcelas.

Tabla 24. Biomasa de MMMS en cada parcela control y promedio (Elaboración propia)

Bloque-Parcela	Biomasa seca (kg/ha)
B4P1	211.33
B5P1	94.57
B6P1	334.54
Promedio	213.48

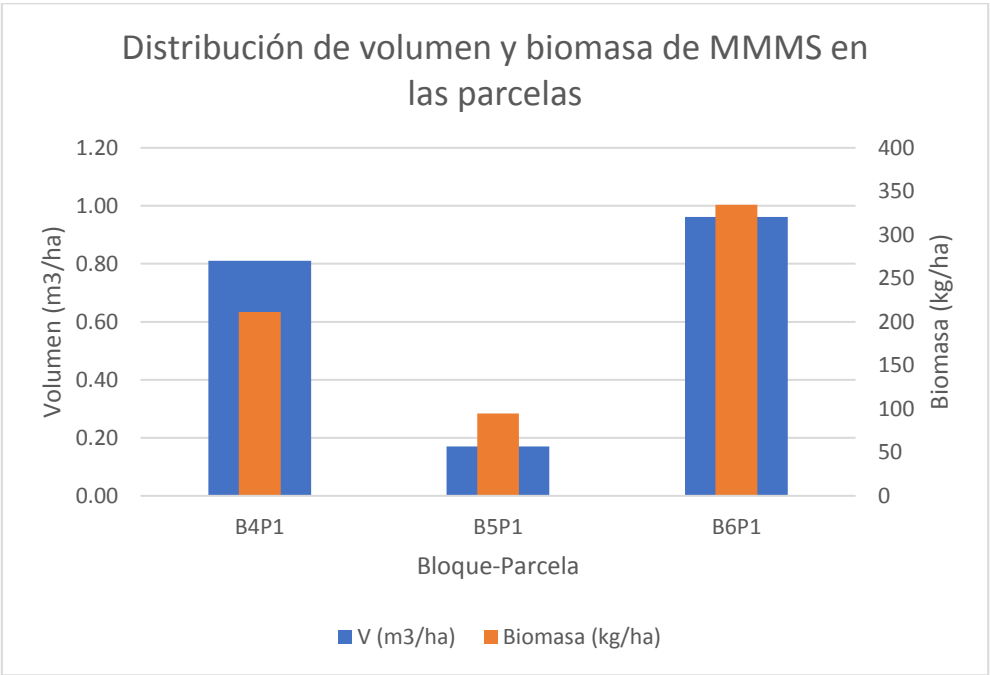


Ilustración 12. Distribución del volumen y biomasa de MMMS en las parcelas control

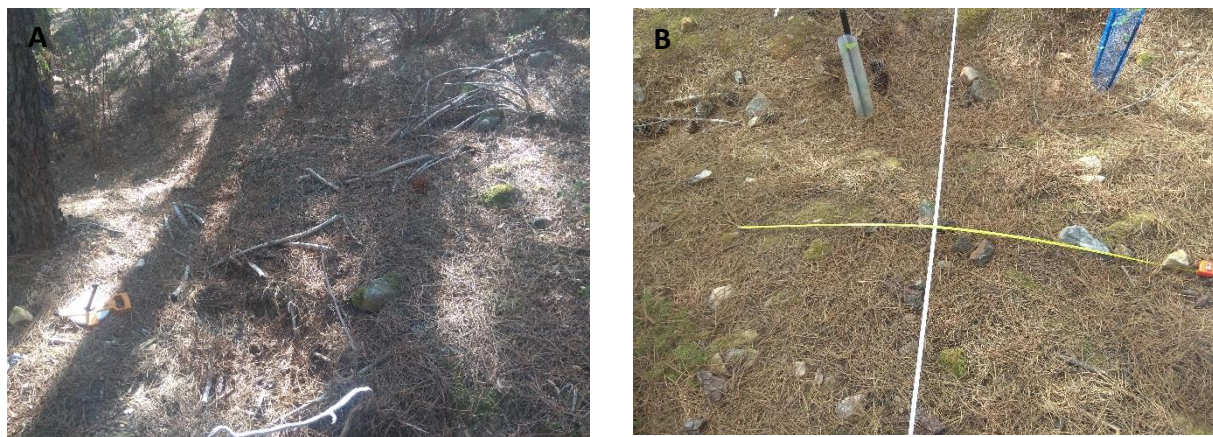


Imagen 4. A. Ejemplo de MMMS.; B. Ejemplo de medición de una parcela del muestreo sistemático sin representación de MMMS y con una FCC del 0-5% de MMFS. (MUP 261 Júcar agosto 2019, fotografías propias)

Madera muerta fina en suelo (MMFS)

En la Ilustración 13 se presenta la fracción de cabida cubierta (FCC) estimada que representa la madera muerta fina en suelo en cada parcela y la media, observando que más de la mitad de las parcelas presentan una FCC del 5%.

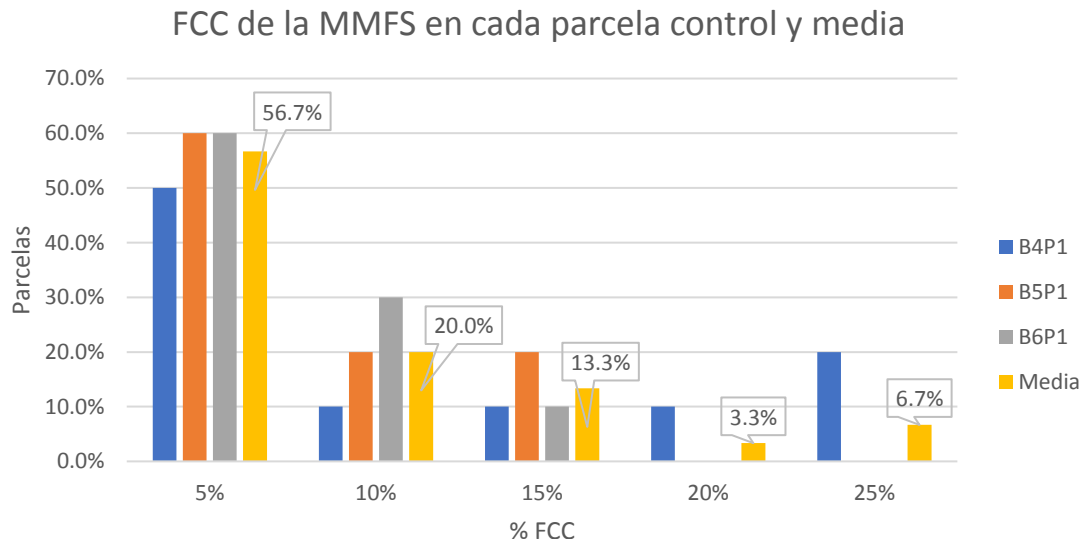


Ilustración 13. Distribución de la fracción de cabida cubierta (FCC) para la MMFS

6.1.2. Estimación del CO₂ retenido por parte de la madera muerta

El CO₂ retenido por la madera muerta oscila entre 685.06 y 719.46 Kg (Tabla 25). Los casi 69 Kg de diferencia son debidos al desconocimiento que tenemos acerca del grado de

descomposición de la parte radical, por lo que se ha calculado la horquilla de CO₂ retenido para un mínimo y un máximo grado de descomposición.

Tabla 25. CO₂ mínimo, máximo y medio retenido por la madera muerta en sus distintas fracciones (Elaboración propia)

Fracción madera muerta	CO ₂ mínimo (Kg/ha)	CO ₂ máximo (Kg/ha)	CO ₂ medio (Kg/ha)
MMP aéreo	390.88	390.88	390.88
MMP radical	56.28	125.06	90.67
MMGS	236.54	236.54	236.54
MMMS	1.37	1.37	1.37
Total	685.06	753.85	719.46

6.2. Madera muerta depositada en parcelas con tratamiento selvícolas

Un año y medio después de las distintas claras realizadas en las parcelas experimentales (Imagen 5), el 85% de los pies apeados y dejados en el monte presentan entre 0-5% de descortezado y el 100% de ellos presentan un grado de descomposición de clase 1. En la Ilustración 14 se observa la distribución de los porcentajes de descomposición en las distintas parcelas y el promedio de ellas. Se ha observado que las trozas con mayor porcentaje de descortezado son aquellas de menor diámetro, siendo el raberón (diámetro inferior a 7.5 cm) la zona donde más descortezado se presenta, aunque solo se hayan tomado datos hasta el diámetro 7.5. A pesar de que las trozas más finas son las que más descortezado presentan, las ramas de la copa no presentan nada de descortezado.



Imagen 5. Ejemplo de pie apeado y dejado en el suelo (MUP Júcar agosto 2019, fotografía propia)

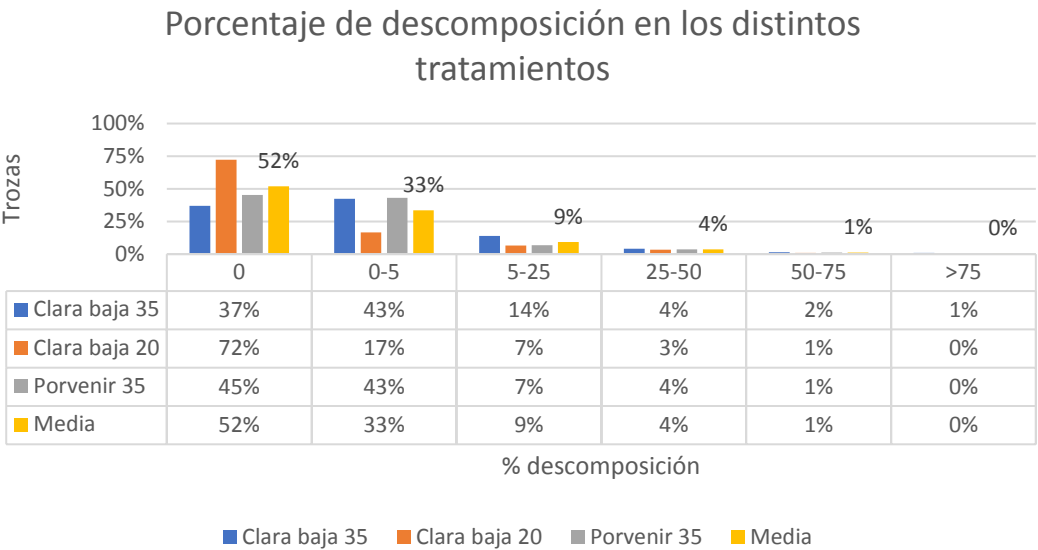


Ilustración 14. Distribución del porcentaje de descomposición según los distintos tratamientos

Se ha detectado presencia de perforadores en el 88% de las trozas. En muchas ocasiones, se ha asociado el levantamiento de corteza o el descortezado a la acción de los perforadores. Aunque solamente se haya apuntado la presencia o ausencia de orificios que indiquen la existencia de perforadores, se ha hecho evidente durante el trabajo en campo que hay un mayor número de orificios, y por tanto de perforadores, en las trozas de menor diámetro, habiendo poca cantidad en las trozas basales de mayor diámetro.

Aparte de los perforadores y algunos hongos saprófitos puntuales, no se ha detectado presencia de refugios o microhábitats asociados a los pies apeados y dejados en el suelo para la fauna de manera pericial. No se ha apreciado que aguas arriba de los pies se haya acumulado restos orgánicos ni sedimentos de manera que pudiera influir en el proceso de descomposición.

El contraste de hipótesis mediante Test Z corregido por Bonferroni para determinar si existen diferencias significativas entre los distintos tratamientos a un año y medio de la ejecución de las claras arroja los resultados mostrados en la Tabla 26, resultando diferencias significativas entre Cb20-Cb35 y Cb35-Cs35 para la clase 0, y diferencias significativas entre Cb20-Cb35 para la clase 0-5, concentrándose el 87% de las trozas en una de estas dos clases de descomposición. En la Ilustración 15 se muestra la

distribución de porcentajes para cada tratamiento con una letra que indica entre que tratamientos y para que clases existen diferencias significativas.

Tabla 26. Resultados del contraste de hipótesis mediante test Z (Elaboración propia)

% descortezado	Comparación	Pvalor	Significación	Aceptación/Rechazo hipótesis	
0	Cb20-Cb35	7.23E-07	0.0125	Rechazo Ho	Hay diferencias significativas
	Cb20-Cs35	0.0945	0.0125	Acepto Ho	-
	Cb35-Cs35	0.0027	0.0125	Rechazo Ho	Hay diferencias significativas
0-5	Cb20-Cb35	1.22E-05	0.0125	Rechazo Ho	Hay diferencias significativas
	Cb20-Cs35	0.1079	0.0125	Acepto Ho	-
	Cb35-Cs35	0.0126	0.0125	Acepto Ho	-

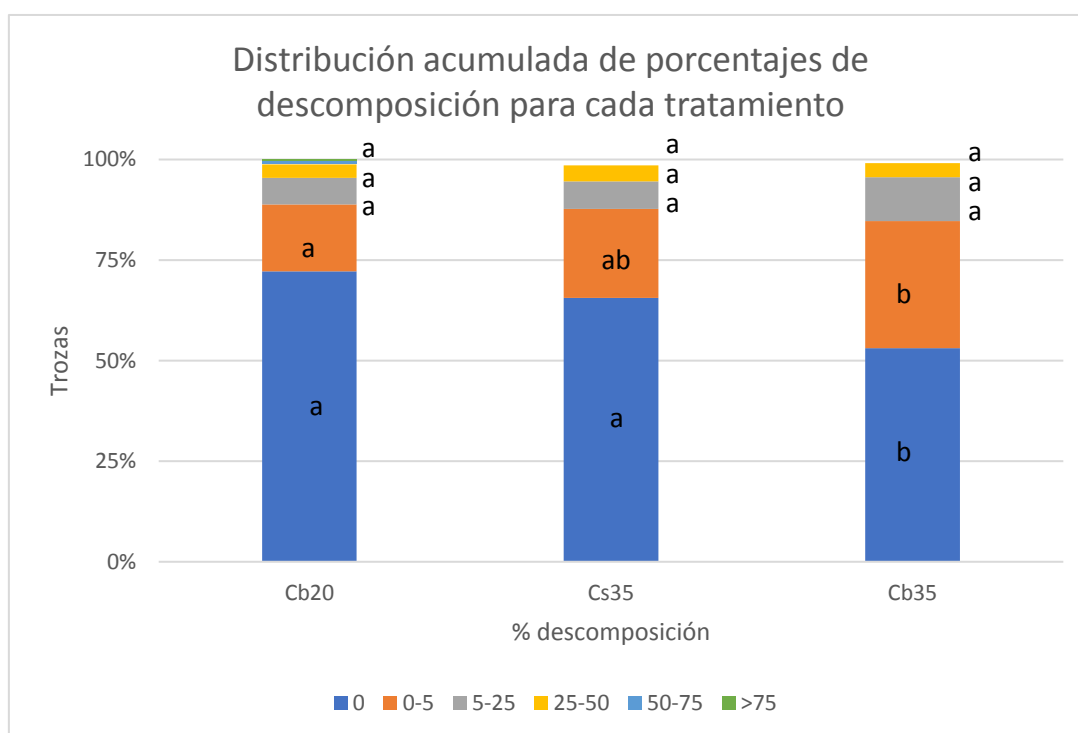


Ilustración 15. Distribución acumulada de los porcentajes de descomposición para cada tratamiento. Las letras indican entre qué tratamientos hay diferencias significativas para cada clase

7. Discusión

7.1. Madera muerta en parcelas control

Como se observa en la Ilustración 10, no hay grandes diferencias en la cantidad de madera muerta entre los distintos bloques y parcelas. Esto probablemente sea debido a que en las claras ejecutadas con anterioridad (1999 y anteriores) se extrajo toda la madera muerta, eliminando las posibles diferencias en la cantidad de madera muerta.

Según la revisión bibliográfica realizada (Tabla 4 e Ilustración 16), el volumen medio de madera muerta en ecosistemas mediterráneos manejados es de 6.1 m³/ha y de 18.7 m³/ha en los no manejados, siendo el volumen de nuestro monte inferior, en cualquier caso. El promedio mediterráneo según EEA (2015) (Tabla 5 e Ilustración 17) en 2010 es de 11.55 m³/ha, aunque aquí no se especifique si son manejados o no. La cantidad de madera muerta en Júcar es inferior a cualquiera de los valores medios presentados en las Tablas 4 y 5 para los distintos climas europeos. El estudio de Recalde et al. (2013) en repoblaciones de *Pinus halepensis* en Navarra da un volumen de 14.49 m³/ha muy superior al nuestro, mientras que un estudio en plantaciones de *Pinus* sp. en el norte de España Herrero et al. (2014) dan valores medios de 3.76 m³/ha, similares a los nuestros. El estudio de Hernando Gallego et al. (2013) sobre hayedos en Zaragoza también da un valor medio de 4.63 m³/ha parecido a nuestro resultado.

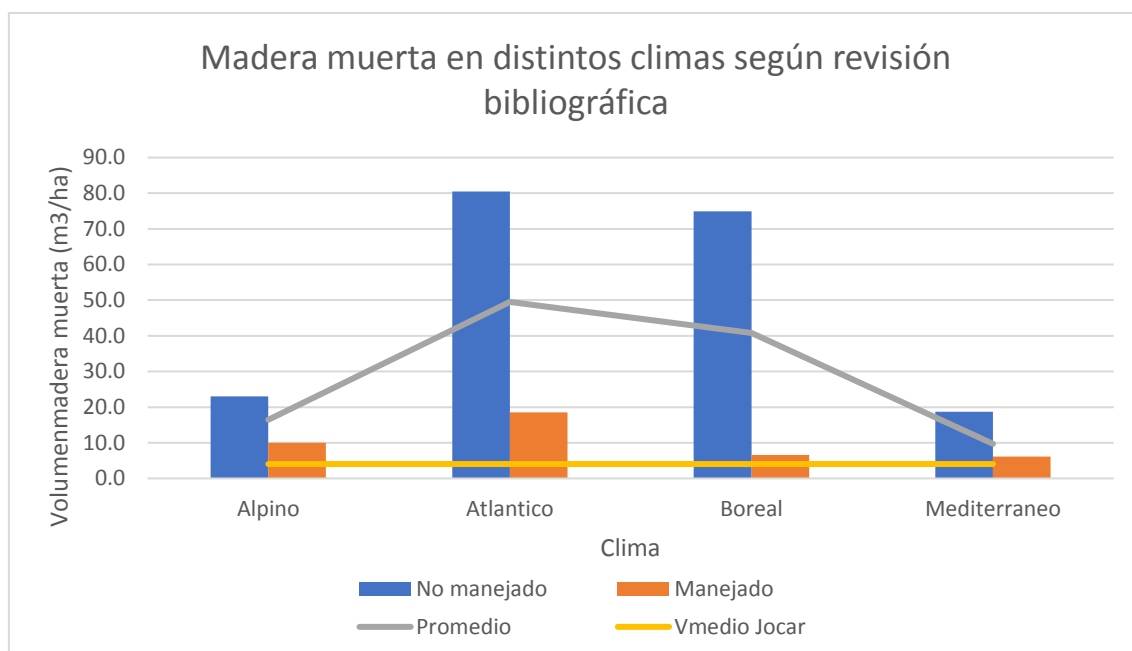


Ilustración 16. Volúmenes medios de madera muerta m^3/ha para distintos climas europeos en masas manejadas y no manejadas según la revisión bibliográfica realizada (Anexo 1) y volumen medio de madera muerta en Júcar (Elaboración propia)

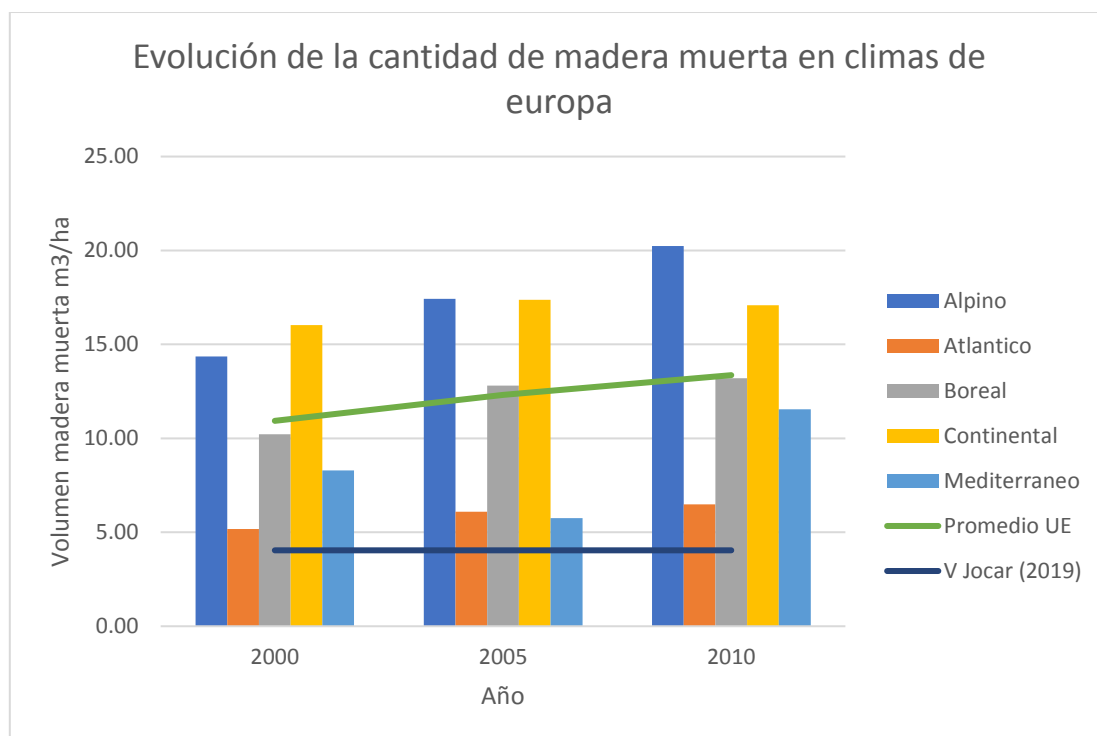


Ilustración 17. Volúmenes medios de madera muerta para distintos climas europeos en tres años diferentes (Anexo 2) (Elaboración propia basado en EEA, (2015))

Uno de los últimos estudios acerca de madera muerta en Europa ha estimado a través de una base de datos el volumen medio de madera muerta y para cada fracción para los distintos países europeos (Puletti et al., 2019). El valor medio para España es de 5.6 m³/ha, valor superior a los encontrados en nuestra zona de estudio. Según los datos de este estudio, España es el país con menor cantidad de madera muerta media.

Hay que tener en cuenta que, en el caso de comparaciones con otros artículos referidos a masas forestales europeas, se ha tomado 10 cm como diámetro mínimo de la “*Coarse Wood Debris*”, lo que implica que en nuestro estudio tenemos menor cantidad de madera muerta a pesar de haber reducido a 7.5 el diámetro mínimo inventariable y por tanto haber incluido mayor cantidad de elementos.

Madera muerta en pie (MMP)

El hecho de que toda la MMP sean tocones que provienen de actividades selvícolas y no haya apenas MMP natural pone de manifiesto la gestión silvícola empleada, en la que probablemente se hayan apeado y eliminado tanto aquellos pies enfermos o debilitados (elementos potenciales de madera muerta) como aquellos ya muertos en pie por mortalidad natural (árboles muertos en pie o estacas). Similares son los resultados del estudio de Recalde et al. (2013) sobre la madera muerta en repoblaciones de *Pinus halepensis* en Navarra para la fracción de MMP, donde apenas hay presencia de árboles muertos en pie (0.01 m³/ha) y donde los tocones por claras también representan la mayor parte de la madera muerta (84.47%), siendo algo común en repoblaciones con tratamientos selvícolas, donde ciertas tipologías “naturales” de madera muerta han sido sustituidas por otras como son los tocones (Montes et al., 2004).

Frente a la frecuente hipótesis de que en masas gestionadas la cantidad de madera muerta es menor, en el estudio de Recalde et al. (2013) se comprueba que existe mayor cantidad de madera muerta con diferencias significativas en las masas manejadas frente a las no manejadas, aunque bien es cierto que la mayor parte de los elementos, como se ha comentado antes, corresponde a los tocones derivados de las claras. Estos tocones aportan una importante cantidad de madera muerta al ecosistema, pero aparte de la cantidad es importante la diversidad y, en nuestro caso (y en la mayoría de los estudios revisados acerca de repoblaciones), no hay apenas cantidad de árboles muertos en pie ni estacas, siendo elementos de gran importancia, por ejemplo, para permitir la cría de

ciertas especies de aves y quirópteros. Para equilibrar esta falta de ciertos elementos de madera muerta, se han propuesto ciertas técnicas como el anillado de árboles para causar su muerte permaneciendo en pie (Beltrán et al., 2018) u otras técnicas.

Esta situación hace reflexionar sobre la necesidad de un cambio en la gestión forestal que integre la visión tradicional silvícola y la ecológica para mantener un equilibrio entre rendimientos productivos y funciones ecosistémicas y que en el caso de la madera muerta mantenga árboles muertos en pie o elementos potenciales, tal y como proponen numerosas directrices e instrucciones de ordenación.

Los tocones inventariados presentan tres clases de estado de la madera, con las máximas representaciones en la clase 2 y 4, con un 36% y 33% de representación respectivamente, mientras que la clase intermedia 3 representa un 19% de los tocones totales. El que haya dos clases de estado de la madera tan diferenciadas hace pensar que puede que se hayan realizado dos claras en diferentes momentos y por eso presente distinto grado de descomposición (se desconoce con precisión la historia silvícola del monte). Sea como sea, esto se traduce en diversidad de elementos de madera muerta como hábitats y, por tanto, en mayor biodiversidad asociada.

Madera muerta gruesa en suelo (MMGS)

En cuanto a la MMGS, un diámetro medio de 11.72 cm es bastante bajo. Esto posiblemente no sea debido a la gestión forestal aplicada si no a la edad de la masa, situada en torno a los 50-60 años, que todavía no tiene la capacidad de producir elementos leñosos muertos de tal diámetro. Teniendo en cuenta la estimación de que la cantidad de MMGS producida en repoblaciones comienza a aumentar a partir de los 60 años (Jonsson et al., 2005), es de esperar que la masa se encuentre actualmente en el punto de inflexión a partir del cual empezará a producir mayor cantidad de MMGS. Sería interesante realizar una comprobación de esta hipótesis mediante comparaciones con futuros inventarios de madera muerta en esta misma masa.

Los elementos de MMGS también presentan distintos grados de descomposición, característica deseable que significa una mayor disponibilidad de diferentes microhábitats que podrán ser utilizados por diversas especies.

Madera muerta media en suelo (MMMS) y madera muerta fina en suelo (MMFS)

A la hora de realizar el inventario la variabilidad ha sido muy grande, teniendo en cuenta que más de la mitad de las parcelas en las que no se ha encontrado ningún elemento de MMMS, teniendo un error elevado pero que es representativo y coherente con la variabilidad de MMMS en el área de estudio.

Las fracciones de MMMS y MMFS han sido menos estudiadas dada la dificultad de realizar un inventario de ellas y porque no se le ha dado tanta importancia como a elementos más gruesos que perduran más en el tiempo proporcionando funciones ecosistémicas. A pesar de ello, creemos que no se debe infravalorar su importancia ecológica, pues bajo la gestión forestal convencional es bastante común dejar en monte los residuos medios y finos de las actuaciones selvícolas (podas, desbroces...) lo que puede ser un aporte importante en cantidad y variedad de madera muerta (Herrero et al., 2014).

En nuestra área de estudio, la presencia de MMFS es más bien escasa (FCC del 5% el 56% de las parcelas y FCC del 10% en el 20% de las parcelas), lo que justifica no haber realizado un inventario específico de esta fracción.

7.2. Madera muerta depositada en parcelas con tratamientos selvícolas

A un año de la ejecución de las claras, como era previsible, los pies dejados en las parcelas apenas presentan descomposición, apreciándose únicamente descortezado que varía principalmente entre el 0 y el 5%, que puede ser debido al inicio de la descomposición, por golpes a la hora de realizar los apeos o por la acción de perforadores.

El contraste de hipótesis realizado muestra que existen diferencias significativas entre Cb20-Cb35 y Cb35-Cs35 para la clase de porcentajes de descortezado 0, y diferencias significativas entre Cb20-Cb35 para la clase 0-5. A pesar de los resultados arrojados por el contraste de hipótesis, se considera que todavía ha pasado muy poco tiempo desde la ejecución de las claras y que las diferencias reales todavía no se han manifestado.

Cuando se sucedan más años y el proceso de descomposición sea más avanzado, podrá comprobarse de manera más precisa si realmente existen o no diferencias significativas.

Al margen del contraste de hipótesis, observando las distribuciones se comprueba que en las claras de mayor intensidad (Cb35 y Cs35), siendo estas claras donde se ha dejado mayor espacio y por tanto se recibe mayor radiación solar, hay mayor proporción de elementos en la clase 0-5 y menos en la clase 0 respecto a la clara más débil (Cb20), lo que hace pensar, aunque no de manera concluyente, que las claras de mayor intensidad aceleran el proceso de descomposición al aumentar la radiación solar recibida.

El hecho de que no se haya detectado ningún refugio ni microhábitat de pequeños mamíferos, reptiles, anfibios, aves... asociado a los pies dejados en el suelo se debe probablemente a que tras un año todavía no ha habido un proceso de descomposición suficiente para crear dichos hábitats. Si uno de los objetivos es aumentar los nichos disponibles para especies saproxílicas, no solo se debería cuantificar el volumen de madera muerta en los bosques, sino cuantificar y caracterizar los microhábitats existentes creados por esa madera muerta o árboles en pie. Por ello, se considera apropiado y se propone para próximas ocasiones realizar un inventario de microhábitats asociados a árboles. Para ello, Larrieu et al. (2018) proponen una interesante clasificación de *Tree related microhabitats* (TreMs) y una metodología que pretende sentar las bases para estandarizar los inventarios de microhábitats creados por árboles en bosques europeos templados y mediterráneos.

Aunque a nivel científico existe un acuerdo en la importancia de la madera muerta en los ecosistemas forestales, a la hora de llevar a la práctica el mantenimiento de elementos muertos se deben tener en cuenta varios factores dependiendo del objetivo y propiedad del terreno. Si lo que se busca es favorecer a determinada especie en concreto, habrá que seguir las recomendaciones específicas para dicha especie, y si lo que se pretende es recuperar los procesos y funciones asociados a la madera muerta de manera general, se debe tener en cuenta ciertos aspectos.

Un factor importante a considerar es el social, siendo la conservación de elementos de madera muerta algo que todavía está “mal visto” entre la sociedad y los propietarios

forestales, sintiendo estos que el monte está “sucio” o que puede causar problemas de plagas y /o enfermedades, o que pueden perder ingresos por el mantenimiento de estos elementos. El sentimiento de pérdida económica, junto a otros factores ecológicos, lleva a plantearse cuál es el criterio para elegir qué árboles son los que se deben dejar en el monte y cuáles no. Es necesaria una labor de educación y conciencia hacia la sociedad en este sentido. Otro factor importante es el riesgo de incendios, determinando si es factible o no la conservación de madera muerta, y de qué manera se debe repartir para minimizar el riesgo. Así, analizando las necesidades sociales, productivas y ecológicas, se debe fijar la cantidad de madera muerta a mantener, determinando el umbral que no se debe sobrepasar a partir del cual aumenta el riesgo de plagas y de incendios forestales (Alberdi Asensio et al., 2012), y alcanzar un acuerdo con los propietarios, facilitándose la tarea en caso de montes públicos.

8. Conclusiones

El volumen medio de madera muerta en nuestra zona de estudio es en algunos casos inferior y en otros similar a los estudios de casos españoles revisados, pero siempre inferior a la media mediterránea y europea.

Todos los elementos de madera muerta en pie son tocones de las claras ejecutadas, existiendo una falta de diversidad de tipologías de madera muerta.

La madera muerta presenta distintos grados de descomposición lo que implica mayor diversidad de hábitats para especies saproxílicas.

A pesar de los resultados del contraste de hipótesis realizado, que muestra diferencias significativas entre algunos tratamientos, se considera que no ha pasado tiempo suficiente como para comprobar los efectos de las distintas claras sobre el proceso de descomposición de los pies apeados y dejados en el suelo.

9. Bibliografía

AENOR. 2013. UNE 162002. Gestión Forestal Sostenible . Criterios e Indicadores.

Agresta S. Coop. 2016. *Determinación de niveles objetivo de árboles muertos en pie y en suelo para compaginar la mejora de la diversidad biológica con el aprovechamiento*

de madera en masas gestionadas en las formaciones de marojal de izki (Quercus pyrenaica).

Alberdi Asensio, I., Condes Ruiz, S., Hernández, L., Barrera, M., Sandoval, V., Vallejo, R., Cañellas, I. 2012. La estimación de la biodiversidad forestal en el Inventario Forestal Nacional. Aplicación en el IFN-4 en Galicia. *Foresta*20-31.

Andersen, T., Carstensen, J., Hernández-García, E., Duarte, C.M. 2009. Ecological thresholds and regime shifts: approaches to identification. *Trends in Ecology and Evolution* 24: 49-57.

Beltrán, M., Piqué, M., Cervera, T., Camprodon, J., Palero, N. 2018. *Manual de buenas prácticas de gestión para la conservación de los bosques de pino laricio. Proyecto Life+PINASSA (LIFE13 NAT/ES/000724)*. Centro de.

Brin, A., Meredieu, C., Piou, D., Brustel, H., Jactel, H. 2008. Changes in quantitative patterns of dead wood in maritime pine plantations over time. *Forest Ecology and Management* 256: 913-921.

Comas, L., Vayreda, J. 2016. Protocolo de muestreo de la madera muerta para la evaluación de la naturalidad en bosques de referencia. 1-28.

Dudley, N., Vallauri, D. 2004. *Deadwood - living forests*.

EEA, E.E.A. 2016. Biogeographical regions. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/biogeographical-regions-europe-3#tab-gis-data> [Accedido 24 de octubre de 2019].

EEA, E.E.A. 2015. Forest: Deadwood. *Forest Indicators: Deadwood*. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/forest-deadwood-1/assessment-1> [Accedido 24 de octubre de 2019].

Fernandes, P., Botelho, H., Loureiro, C. 1999. Fire hazard implications of alternative fuel management techniques - case studies from northern Portugal. *Proceedings from the joint fire science conference*48-50.

Forest Stewardship Council A.C. 2012. Estándares españoles de gestión forestal para la certificación FSC. 1-118.

- Fridman, J., Walheim, M. 2000. Amount, structure, and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden. *Forest Ecology and Management* 131: 23-36.
- De Frutos, S. 2017. *PROYECTO DE DISEÑO E INSTALACIÓN DEL DISPOSITIVO SELVÍCOLA EXPERIMENTAL PARA EL PROYECTO FORADMIT EN JÓCAR (GUADALAJARA)*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Grove, S.J. 2001. Extent and composition of dead wood in Australian lowland tropical rainforest with different management histories. *Forest Ecology and Management* 154: 35-53.
- Grove, S.J. 2002. Saproxylic insect ecology and the sustainable management of forests. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33: 1-23.
- Guerra, I., Sánchez, G. 2013. Propuesta de mejora de cuantificación de Carbono en detritus, madera muerta y biomasa viva para el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. *6º Congreso Forestal Español* 1-11.
- Guixé, D., Camprodon, J. 2018. *Manual de conservación y seguimiento de los quirópteros forestales*. Ministerio. Madrid.
- Hernando Gallego, A., Rosario Tejera, R., Garcia Abril, A., Pérez Palomino, A., Arrechea Veramendi, E. 2013. La madera muerta como indicador del estado de conservación de los hábitats en la Red Natura. *6º Congreso Forestal Español*.
- Herrero, C., Krankina, O., Monleon, V.J., Bravo, F. 2014. Amount and distribution of coarse woody debris in pine ecosystems of North-Western Spain, Russia and the United States. *IForest* 7: 53-60.
- Herrero, C., Pando, V., Bravo, F. 2010. Modelling coarse woody debris in *Pinus* spp. plantations. A case study in Northern Spain. *Annals of Forest Science* 67: .
- Hyvärinen, E., Kouki, J., Martikainen, P. 2006. Fire and green-tree retention in conservation of red-listed and rare deadwood-dependent beetles in finnish boreal forests. *Conservation Biology* 20: 1711-1719.
- IPCC. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

JCCM. 2015. *Cátalo de Montes de Utilidad Pública de la provincia de Guadalajara*. Junta de Comunidades de Castilla La Mancha.

Jonsson, B.G., Kruys, N., Ranius, T. 2005. Ecology of species living on dead wood - Lessons for dead wood management. *Silva Fennica* 39: 289-309.

Laiho, R., Prescott, C.E. 2004. Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests: A synthesis. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 763-777.

Larrieu, L., Cabanettes, A., Delarue, A. 2012. Impact of silviculture on dead wood and on the distribution and frequency of tree microhabitats in montane beech-fir forests of the Pyrenees. *European Journal of Forest Research* 131: 773-786.

Larrieu, L., Paillet, Y., Winter, S., Bütler, R., Kraus, D., Krumm, F., Lachat, T. et al. 2018. Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. *Ecological Indicators* 84: 194-207.

Lombardi, F., Chirici, G., Marchetti, M., Tognetti, R., Lasserre, B., Corona, P., Barbati, A. et al. 2010. Deadwood in Forest Stands Close To Old-Growthness Under Mediterranean Conditions in the Italian Peninsula. *L'Italia Forestale e Montana* 65: 481-504.

Lombardi, F., Lasserre, B., Tognetti, R., Marchetti, M. 2008. Deadwood in relation to stand management and forest type in central apennines (Molise, Italy). *Ecosystems* 11: 882-894.

McComb, W., Lindenmayer, D. 1999. Dying, dead, and down trees. En *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*, pp. 335-372.

MITECO. 2006. Cambio en las existencias de carbono de la biomasa viva en las tierras forestales que permanecen como tales. 1-11. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/4a1-csc-lb-lulucf_tcm30-449613.pdf.

MMARM. 2009. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de*

hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino., Madrid.

Montes, F., Cañellas, I. 2006. Modelling coarse woody debris dynamics in even-aged Scots pine forests. *Forest Ecology and Management* 221: 220-232.

Montes, F., Canellas, I., Montero, G. 2004. Characterisation of coarse woody debris in two Scots pine forests in Spain. *Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe - From Ideas to Operationality* 171-180.

Müller, J., Bütler, R. 2010. A review of habitat thresholds for dead wood: A baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research* 129: 981-992.

Müller, J., Wende, B., Strobl, C., Eugster, M., Gallenberger, I., Floren, A., Steffan-Dewenter, I. et al. 2015. Forest management and regional tree composition drive the host preference of saproxylic beetle communities. *Journal of Applied Ecology* 52: 753-762.

Olivar, J., Sabin, P., Quintana, L., Lasala, Trasierra, A. 2017. Determinación de niveles objetivo de árboles muertos en pie y en suelo para compaginar la mejora de la diversidad biológica con el aprovechamiento de madera en masas gestionadas en las formaciones de marojal (*Quercus pyrenaica*) del Parque Natural de Izki . 7º *Congreso Forestal Español*.

Paletto, A., De Meo, I., Cantiani, P., Ferretti, F. 2014. Effects of forest management on the amount of deadwood in Mediterranean oak ecosystems. *Annals of Forest Science* 71: 791-800.

Puletti, N., Canullo, R., Mattioli, W., Gawryś, R., Corona, P., Czerepko, J. 2019. A dataset of forest volume deadwood estimates for Europe. *Annals of Forest Science* 76: 1-8.

Rahman, M.M., Frank, G., Ruprecht, H., Vacik, H. 2008. Structure of coarse woody debris in Lange-Leitn Natural Forest Reserve, Austria. *Journal of Forest Science* 54: 161-169.

Recalde, I., Herrero, C., Bravo, F. 2013. Cuantificación de madera muerta en

- repoblaciones de *Pinus halepensis* Mill. en Navarra. *6º Congreso Forestal Español* 11-13.
- Regnery, B., Paillet, Y., Couvet, D., Kerbiriou, C. 2013. Which factors influence the occurrence and density of tree microhabitats in Mediterranean oak forests? *Forest Ecology and Management* 295: 118-125.
- Sande, N. 2016. *Dead wood structures and tree microhabitats in Pinus nigra forests of varying management histories in Catalonia*. University of Lleida, University of Eastern Finland.
- Sefidi, K. 2015. The Influence of Forest Management Histories on Dead Wood and Habitat Trees in the Old Growth. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering* 9: 1019-1023.
- Seibold, S., Bässler, C., Brandl, R., Gossner, M.M., Thorn, S., Ulyshen, M.D., Müller, J. 2015. Experimental studies of dead-wood biodiversity - A review identifying global gaps in knowledge. *Biological Conservation* 191: 139-149.
- Siitonen, J. 2001. Coarse Woody Debris and Saproxylic Organisms : Fennoscandian Boreal Forests as an Example. 10-41.
- Sverdrup-Thygeson, A., Bendiksen, E., Birkemoe, T., Larsson, K.H. 2014. Do conservation measures in forest work? A comparison of three area-based conservation tools for wood-living species in boreal forests. *Forest Ecology and Management* 330: 8-16.
- Travaglini, D., Barbati, A., Chirici, G., Lombardi, F., Marchetti, M., Corona, P. 2007. ForestBIOTA data on deadwood monitoring in Europe. *Plant Biosystems* 141: 222-230.
- Travaglini, D., F, M., M, L., Lombardi, F., Marchetti, M., Chirici, G., Corona, P. 2006. Deadwood surveying experiments in alpine and mediterranean forest ecosystems. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura* 2: 71-86.
- Woodall, C.W., Rondeux, J., Pieter, J., Wood, D. 2006. Estimating Dead Wood During National Forest Inventories : A Review of Inventory Methodologies and Suggestions for Harmonization Current Status of Dead Wood National. 179-184.

Índice de Anexos

Anexo 1. Datos recopilados en la revisión bibliográfica para calcular volúmenes medios de madera muerta según climas europeos

Anexo 2. Datos de la European Environmental Agency (EEA) utilizados para calcular volúmenes medios según climas europeos

Anexo 3. Tablas resumen de estadística descriptiva para cada fracción de madera muerta en parcelas control y para parcelas con distintas claras

Anexo 1.

Datos recopilados en la revisión bibliográfica para calcular volúmenes medios de madera muerta según climas europeos

Anexo 1. Datos recopilados en la revisión bibliográfica para calcular volúmenes medios de madera muerta según climas europeos

Clima	Lugar	Gestión	V _{mín}	V _{máx}	V _{medio}	Referencia original	Recogido de
Alpino	Suiza	Manejado			10.00	Guby and Dobbertin, 1996	(Fridman y Walheim, 2000)
Alpino	Suiza	No manejado			23.00	Guby and Dobbertin, 1996	(Fridman y Walheim, 2000)
Atlántico	Gran Bretaña	No manejado	60	140	100.00	Kirby et al 1998	
Atlántico	Gran Bretaña	Manejado	-	20	20.00	Kirby et al 1998	
Atlántico	Escocia	Manejado			14.00	Reid et al., 1996	(Fridman y Walheim, 2000)
Atlántico	Escocia	No manejado			54.00	Reid et al., 1996	(Fridman y Walheim, 2000)
Atlántico	Reino Unido	Manejado	4	39	21.50	Green and Peterken, 1997	(Fridman y Walheim, 2000)
Atlántico	Reino Unido	No manejado	47	128	87.50	Green and Peterken, 1997	(Fridman y Walheim, 2000)
Boreal	Fenoscandia	No manejado	60	90	75.00	(Siitonen, 2001)	
Boreal	Fenoscandia	Manejado	2	5	3.50	(Siitonen, 2001)	
Boreal	Fenoscandia	Manejado	4	10	7.00	(Jonsson et al., 2005)	
Boreal	Finlandia	No manejado	70	184	127.00	(Siitonen et al., 2000)	
Boreal	Finlandia	Manejado	2	38	20.00	(Siitonen et al., 2000)	
Boreal	Suecia	Manejado			11.00	Andersson and Hytteborn, 1991	(Fridman y Walheim, 2000)
Boreal	Suecia	No manejado			73.00	Andersson and Hytteborn, 1991	(Fridman y Walheim, 2000)
Boreal	Suecia	Manejado			1.70	LaËmaËs and Fries, 1995	(Fridman y Walheim, 2000)
Boreal	Suecia	No manejado	44	91	67.50	LaËmaËs and Fries, 1995	(Fridman y Walheim, 2000)
Boreal	Suecia-Rusia	Manejado			2.30	Majewski et al., 1995	(Fridman y Walheim, 2000)

Clima	Lugar	Gestión	Vmín	Vmáx	Vmedio	Referencia original	Recogido de
Boreal	Suecia-Rusia	No manejado			81.00	Majewski et al., 1995	(Fridman y Walheim, 2000)
Boreal	Suecia	No manejado			89.00	Linder et al., 1997	(Fridman y Walheim, 2000)
Boreal	Suecia	Manejado	0.5	1	0.75	Linder and OË stlund, 1998	(Fridman y Walheim, 2000)
Boreal	Suecia	No manejado	11	13	12.00	Linder and OË stlund, 1998	(Fridman y Walheim, 2000)
Mediterráneo	España (Navarra)	Manejado	-	-	14.49	(Recalde et al., 2013)	
Mediterráneo	NW España	Manejado			3.76	(Herrero et al., 2014)	
Mediterráneo	España (Zaragoza)	Manejado	3.71	5.68	4.63	(Hernando Gallego et al., 2013)	
Mediterráneo	Turquía	Manejado			4.50	(Lombardi et al., 2008)	
Mediterráneo	Turquía	No manejado			31.60	(Lombardi et al., 2008)	
Mediterráneo	Italia	Manejado			3.20	(Lombardi et al., 2008)	
Mediterráneo	Italia	No manejado			5.80	(Lombardi et al., 2008)	

Anexo 2.

Datos de la European Environmental Agency (EEA) utilizados para calcular volúmenes medios según climas europeos

Anexo 2. Datos de la European Environmental Agency (EEA) utilizados para calcular volúmenes medios según climas europeos

País	Clima	Volumen medio (m3/ha)		
		Año 2000	Año 2005	Año 2010
Austria	Alpino	13.70	17.40	20.30
Switzerland	Alpino	14.50	17.90	21.30
Slovenia	Alpino	14.90	17.00	19.10
Belgium	Atlántico	7.10	7.00	7.30
Ireland	Atlántico	-	6.60	6.30
Netherlands	Atlántico	4.50	8.10	9.80
United Kingdom	Atlántico	3.90	3.90	3.90
Denmark	Atlántico	-	4.90	5.10
Belarus	Boreal	2.10	1.00	1.20
Estonia	Boreal	9.90	12.50	14.60
Finland	Boreal	5.60	5.70	5.70
Latvia	Boreal	6.00	17.70	17.70
Lithuania	Boreal	23.00	23.00	23.00
Norway	Boreal	6.80	-	-
Sweden	Boreal	6.50	7.90	8.20
Russian Federation	Boreal	21.90	21.80	22.00
Czech Republic	Continental	-	11.60	11.60
Poland	Continental	-	-	5.60
Slovakia	Continental	-	26.20	26.20
Ukraine	Continental	25.00	26.00	27.00
Germany	Continental	11.50	11.50	15.00
Luxembourg	Continental	11.60	11.60	-
Croatia	Mediterráneo	-	-	14.00
Italy	Mediterráneo	8.30	8.70	9.10
Portugal	Mediterráneo	-	2.80	-

Referencia: (EEA, 2015)

Anexo 3.

Tablas resumen de estadística
descriptiva para cada fracción de
madera muerta en parcelas control y
para parcelas con distintas claras

Anexo 3. Tablas resumen de estadística descriptiva para cada fracción de madera muerta en parcelas control y para parcelas con distintas claras

Madera muerta en pie (MMP)		
	Número elementos	%
Número elementos	260	
<i>Pinus pinaster</i>	259	100%
Tocón cortado	260	
Dmin	7.50	
Dmáx	36.40	
Dm	18.96	
D50	19.35	
Hmin	0.10	
Hmax	3.50	
Hm	0.22	
H50	0.20	
Estado visual: 9 Tocón	259	100%

Variable	Código	Nº elementos	%
Corteza	1	2	1%
	3	1	0%
	4	3	1%
	5	253	97%
	6	1	0%
Madera	1	21	8%
	2	94	36%
	3	49	19%
	4	85	33%
	5	11	4%

Madera Muerta Gruesa en Suelo (MMGS)			
		Número elementos	%
Número elementos total		92	
Cortado		50	54%
Natural		42	46%
Dmin		5.70	
Dmax		26.55	
Dmedio		11.72	
Hmin		0.24	
Hmax		6.30	
Hmedio		1.07	
Variable	Código	Nº elementos	%
Grado descomposición	1	2	2%
	2	64	70%
	3	20	22%
	4	6	7%
Inclinación	cn	20	22%
	0-45	10	11%
	45-90	32	35%
	Imp	30	33%
Porcentaje visual de descomposición	0	0	0%
	0-5	5	5%
	5-25	19	21%
	25-50	28	30%
	50-75	32	35%
	>75	8	9%
Zona	1	2	2%
	2	11	12%
	3	0	0%
	4	0	0%
	5	79	86%
Raso	1	55	60%
	2	37	40%
Estado de la madera	1	1	1%
	2	34	37%
	3	14	15%
	4	35	38%
	5	8	9%

Retención de la corteza	1	0	0%
	2	2	2%
	3	1	1%
	4	4	4%
	5	19	21%
	6	65	71%
	7	1	1%

Clara baja del 20% en G

Tratamiento	Clara baja con peso del 20% en G
	Cb20
Trozos	331

Variable	Clasificación	Número elementos	%
Porcentaje visual de descortezado	0	239	72%
	0-5	55	17%
	5-25	22	7%
	25-50	11	3%
	50-75	3	1%
	>75	1	0%

Zona	1	10	3%
	2	1	0%
	3	19	6%
	4	10	3%
	5	36	11%
	Varios	103	31%
	-	152	46%

Raso	1	227	69%
	2	104	31%

Perforadores	Si	291	88%
	No	40	12%

Porcentaje contacto suelo	0	150	45%
	0-5	16	5%
	5-25	67	20%
	25-50	46	14%
	50-75	21	6%
	75-95	19	6%
	95-100	9	3%
	NA	3	1%

Orientación	CN	86	26%
	Imp	0	0%
	-	151	46%

V medio por parcela (m3/ha)	21.41
-----------------------------	-------

Clara baja del 35% en G

Tratamiento	Clara baja con peso del 35% en G
	Cb35
Trozos	320

Variable	Clasificación	Número elementos	%
Porcentaje visual de descortezado	0	170	53%
	0-5	101	32%
	5-25	35	11%
	25-50	11	3%
	50-75	3	1%
	>75	0	0%

Zona	1	19	6%
	2	8	3%
	3	26	8%
	4	26	8%
	5	108	34%
	Varios	15	5%
	-	118	37%

Raso	1	219	68%
	2	101	32%

Perforadores	Si	286	89%
	No	34	11%

Porcentaje contacto suelo	0	146	46%
	0-5	16	5%
	5-25	55	17%
	25-50	61	19%
	50-75	13	4%
	75-95	12	4%
	95-100	11	3%
	NA	6	2%

Orientación	CN	38	12%
	Imp	0	0%
	-	73	23%

V medio por parcela (m3/ha)	21.41
-----------------------------	-------

Clara de selección de pies de porvenir 35% en G

Tratamiento	Clara de selección de pies de porvenir 35% en G
	Cs35
Trozas	276

Variable	Clasificación	Número elementos	%
Porcentaje visual de descortezado	0	181	66%
	0-5	61	22%
	5-25	19	7%
	25-50	11	4%
	50-75	4	1%
	>75	0	0%

Zona	1	11	4%
	2	0	0%
	3	24	9%
	4	17	6%
	5	86	31%
	Varios	13	5%
	-	125	45%

Raso	1	204	74%
	2	72	26%

Perforadores	Si	241	87%
	No	35	13%

Porcentaje contacto suelo	0	153	55%
	0-5	10	4%
	5-25	48	17%
	25-50	36	13%
	50-75	2	1%
	75-95	11	4%
	95-100	10	4%
	NA	6	2%

Orientación	CN	0	0%
	Imp	0	0%
	-	103	37%

Anexo 4.

Estadillos utilizados

Estadillo para las parcelas con claras

Bloque: Parcela: Tratamiento: Fecha:
Pies nº: Curva Nivel: Sí – No Raso – Bajo copa - Ambos

Nº troza	D1 (cm)	D2 (cm)	Long. (m)	% Cort. Descomp.	Zona	Raso	Inicio Copa	% Contacto suelo	Observaciones

Solo la primera troza tendrá d1 y d2; el resto, solo d2. **D punta delg (cm): 7**
Long trozas (m): 2

Ultimo d: siempre Dpd. Apuntar siempre longitud de última troza.

% Cort descomp: % de corteza descompuesta en la troza.

Zona de la troza en que se concentra la corteza descompuesta. 1: superior/ 2: suelo/ 3: lateral aguas arriba/ 4: lateral aguas abajo/ 5: indiferente.

Raso: 1 si la troza está bajo raso; 2 si está claramente bajo copa.

Inicio de copa: marcar con X la troza en que se inicia la inserción de ramas de la copa.

Equipo:

Alejandro Calvillo Ruiz

Dmin inventariable: 7.5 cm

[illegible]

Alejandro Calvillo Ruiz

Bloque:

Parcela:

Equipo:

Dmin inventariable: 7.5 cm

[illegible]

Madera muerta: caracterización, cuantificación y análisis del inicio del proceso de descomposición sobre una repoblación de *Pinus pinaster* (Sierra Norte, Guadalajara)

Alejandro Calvillo Ruiz

Estadillo para madera muerta media en suelo (MMMS) y madera muerta fina en suelo (MMFS)

MMMS D (2,5-7,5) cm

MMFS $D < 2,5$ cm

[illegible]

Madera muerta: caracterización, cuantificación y análisis del inicio del proceso de descomposición sobre una repoblación de *Pinus pinaster* (Sierra Norte, Guadalajara)

Alejandro Calvillo Ruiz

[illegible]